

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Sistema Automatizado de Produção de Rolhas Capsuladas

Francisco Matos

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Pedro Costa

Co-orientador: Professor José Lima

Orientador Externo: Engenheiro Jorge Neiva

1 de Agosto de 2019

Resumo

O desenvolvimento de um sistema automatizado para uso industrial é uma tarefa bastante complexa e específica, que geralmente envolve a integração de diversas competências e o planeamento prévio de várias fases do projeto. Este projeto realizou-se em ambiente empresarial, através de uma parceria entre a empresa RobotSol Engenharia Industrial S.A. e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O seu objetivo teve em vista a criação de um sistema automatizado de produção de vários modelos de rolhas capsuladas (nomeadamente de qualidade superior), focando-se principalmente na parte de controlo e na interface.

Os sistemas automatizados industriais utilizam quatro elementos essenciais: o PLC, que controla todo o processo; a consola, que permite uma interação com o sistema; os atuadores, que realizam os movimentos mecânicos; e os sensores, que providenciam informações relativamente ao sistema ou produção. A produção de rolhas capsuladas compreende seis etapas: entrada e posicionamento das rolhas e cápsulas, injeção de cola, montagem, prensagem e saída do produto final. Todas elas necessitam de ser realizadas com elevada precisão visto que os materiais que manipulam podem ser considerados delicados.

A solução tecnológica atingida pretende cumprir requisitos e restrições (definidos previamente conforme os objetivos e necessidades exigidos) e é o resultado de um trabalho realizado ao longo de várias etapas. O sistema desenvolvido criou-se por forma a ser possível a alteração dos seus estados de funcionamento (produzindo, pausado, finalizando e parado) através de botões de fácil acesso. Os programas de controlo encontram-se divididos conforme as zonas ou módulos do sistema, permitindo assim uma melhor e mais fácil perceção do seu funcionamento e atualizações futuras conforme seja necessário. Para além disso utiliza-se uma consola, desenhada por forma a ser bastante simples e intuitiva, com o objetivo de apresentar informações relevantes acerca da máquina. A produção é baseada em receitas, que podem ser selecionadas na consola.

Desenvolveram-se três receitas para o processo de produção de rolhas capsuladas, designadas por "GOLD", "LONDON Nº1" e "1969". Para cada uma delas devem ser utilizadas as cápsulas e rolhas correspondentes. Os testes realizados ao sistema, utilizando diferentes receitas, para além de possuírem uma eficiência bastante elevada (entre os 95% e os 100%), cumpriram a cadência de produção exigida pelos objetivos definidos inicialmente.

Abstract

The development of an automated system for industrial use is a very complex and specific task, which usually involves the integration of various skills and the pre-planning of various phases of the project. This project was carried out in a business environment, through a partnership between the company RobotSol Engenharia Industrial S.A. and the Faculty of Engineering of the University of Porto. Its goal was to create an automated system for the production of several models of capped stoppers (namely of superior quality), focusing mainly on the control part and the interface.

The industrial automated systems use four essential elements: the PLC, which controls the entire process; the console, which allows an interaction with the system; the actuators, which perform the mechanical movements; and sensors, which provide information about the system or production. The production of capped stoppers comprises six steps: entry and positioning of stoppers and capsules, glue injection, assembly, pressing and output of the final product. All of them need to be performed with high precision since the materials they handle can be considered delicate.

The technological solution reached intends to fulfill requirements and constraints (previously defined according to the objectives and necessities required) and is the result of a work accomplished through several stages. The developed system was created in order to be able to change its operating states (producing, paused, ending and stopped) through easy-access buttons. The control programs are divided according to the zones or modules of the system, thus allowing a better and easier perception of their operation and future updates as needed. In addition, a console, designed to be very simple and intuitive, is used to present relevant information about the machine. The production is based on recipes, which can be selected on the console.

Three recipes were developed for the production process of capped stoppers, called "GOLD", "LONDON N°1" and "1969". The corresponding capsules and stoppers must be used for each of them. The tests performed on the system, using different revenues, besides having a very high efficiency (between 95 % and 100 %), fulfilled the production rate required by the initially defined objectives.

Agradecimentos

Antes de prosseguir com o documento, gostaria de agradecer a todos os que me ajudaram durante o meu percurso acadêmico e, em particular, nesta dissertação.

Ao Professor Pedro Costa e ao Professor José Lima, pelos ensinamentos e conselhos passados.

À RobotSol Engenharia Industrial S.A., pela oportunidade e confiança depositada.

Ao Engenheiro Jorge Neiva, meu orientador na empresa, pela disponibilidade e partilha de conhecimento.

A todas as pessoas que, de uma maneira ou de outra e apenas pelo prazer de ajudar, se envolveram no projeto.

Ao Pedro Martins, grande amigo, colega da faculdade e parceiro no desenvolvimento do projeto, sem o qual este nunca estaria concluído.

Às amizades criadas ao longo do curso, em particular ao André, Armando, Daniel, Diogo, "Quinel", Ramalho, Sérgio, "Tony" e Tiago, pelos momentos partilhados e pelas noitadas (de estudo).

Aos amigos que me conhecem há mais tempo, Hugo, Raul, Marta e Rita, por manterem a simplicidade na nossa amizade durante todos estes anos.

À minha namorada "Kika", por toda a disponibilidade, paciência, boa disposição, humildade e sinceridade. O mundo seria muito melhor se todos pensássemos e agíssemos como tu.

À minha família, nomeadamente aos meus pais, pelos sacrifícios a que se submeteram e por proporcionarem todas as condições ideais para o meu sucesso.

Francisco Matos

*What's the fun
if it's easy?*

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contexto e motivação	1
1.1.1	RobotSol	2
1.1.2	Identificação do problema	2
1.2	Objetivos	2
1.3	Estrutura da dissertação	3
2	Revisão Bibliográfica	5
2.1	Soluções de controlo industrial	5
2.1.1	Relés industriais	5
2.1.2	Autómatos programáveis	6
2.1.3	Norma IEC61131	8
2.1.3.1	Modelo de aplicação	8
2.1.3.2	Linguagens de programação	9
2.1.3.3	Conclusão	12
2.1.4	Consolas	12
2.1.5	Atuadores	13
2.1.5.1	Pneumáticos	13
2.1.5.2	Hidráulicos	14
2.1.5.3	Elétricos	14
2.1.6	Sensores	15
2.1.6.1	Proximidade	15
2.1.6.2	Posição e velocidade	17
2.2	GRAFCET	19
2.3	Capsulamento de rolhas	20
2.3.1	Componentes	20
2.3.2	Processo de produção	21
2.4	Exemplos de sistemas automáticos	21
2.4.1	Equipamento de capsular rolhas CAP-100	21
2.4.2	Equipamento de produção de gaiolas de arame para espumantes	22
2.4.3	Equipamento de medição automática de rolhas capsuladas	22
2.5	Resumo	23
3	Solução Tecnológica	25
3.1	Especificação de requisitos, restrições do sistema e planeamento	25
3.1.1	Introdução	25
3.1.2	Identificação das necessidades	25
3.1.2.1	Informações gerais	26

3.1.2.2	Priorização	26
3.1.3	Restrições	26
3.1.4	Planeamento temporal	27
3.2	Controlo	27
3.2.1	Autómato e cartas	27
3.2.2	<i>Sysmac Studio</i>	28
3.2.2.1	Visão geral	28
3.2.2.2	Configurações	29
3.2.2.3	Linguagens e métodos	31
3.2.3	Algoritmo desenvolvido	32
3.3	Modos de funcionamento	34
3.4	<i>Layout</i> e sequências operativas	34
3.4.1	Módulos	36
3.4.1.1	Módulo de entrada de rolhas de cortiça	36
3.4.1.2	Módulo de entrada de cápsulas	42
3.4.1.3	Módulo de montagem	45
3.4.1.4	Manipulador	49
3.4.1.5	Módulo de saída	52
3.5	Interface	57
3.5.1	Consola	57
3.5.2	NB-Designer	58
3.5.3	Variáveis e memória	59
3.5.4	Páginas e funcionalidades	60
3.5.4.1	Página principal	60
3.5.4.2	Célula	61
3.5.4.3	Zona de entrada de rolhas	62
3.5.4.4	Zona de entrada de cápsulas	62
3.5.4.5	Zona de montagem	63
3.5.4.6	Zona de saída de produto	63
3.5.4.7	Manipulador	64
3.5.4.8	Receitas	64
3.5.4.9	Alarmes	65
3.6	Resumo	65
4	Testes e resultados	67
4.1	Receita número um - GOLD	67
4.2	Receita número dois - LONDON N°1	68
4.3	Receita número três - 1969	70
4.4	Conclusões	71
5	Conclusões e Trabalho Futuro	73
5.1	Satisfação dos Objetivos	73
5.2	Futuros desenvolvimentos	73
5.2.1	Estrutura e componentes mecânicos	74
5.2.2	Programação	74

A	Evolução do sistema	75
A.1	Evolução do módulo de entrada de rolhas	75
A.2	Evolução do módulo de montagem	76
A.3	Evolução do módulo de saída de produto final	77
B	Código desenvolvido para o autómato	79
	Referências	145

Lista de Figuras

2.1	Exemplo de um circuito baseado num relé ([1], adaptado)	6
2.2	Exemplo de um autómato [2]	7
2.3	Exemplo de uma carta [3]	7
2.4	Modelo de arquitetura definido pela norma IEC61131	8
2.5	Exemplo do uso de FBD ([4], adaptado)	10
2.6	Entrada/Contacto	11
2.7	Saída/Bobina	11
2.8	Exemplo do uso de LD)	11
2.9	Exemplo do uso de SFC)	12
2.10	Exemplo de uma consola [5]	13
2.11	Exemplo de um atuador pneumático [6]	13
2.12	Exemplo de um atuador hidráulico [7]	14
2.13	Exemplo de um motor CA	15
2.14	Exemplo de um motor CC	15
2.15	Exemplo de um motor de passo	15
2.16	Exemplo de um sensor de proximidade mecânico [8]	15
2.17	Sensor ótico de barreira	16
2.18	Sensor ótico difuso	16
2.19	Sensor ótico retro-reflexivo	16
2.20	Exemplo de um sensor indutivo [9]	17
2.21	Exemplo de um sensor capacitivo [10]	17
2.22	Exemplo de sensores magnéticos [11]	17
2.23	Exemplo de um potenciómetro [12]	18
2.24	Exemplo de um <i>encoder</i> [13]	18
2.25	Exemplo de um disco de um <i>encoder</i> incremental [14]	18
2.26	Exemplo de um disco de um <i>encoder</i> absoluto [14]	18
2.27	Exemplo de um diagrama em GRAFCET	19
2.28	Rolhas capsuladas [15]	20
2.29	Equipamento CAP-100 [16]	21
2.30	Equipamento GATIM 40-FB-EVO [17]	22
2.31	Equipamento MedCap [18]	23
3.1	OMRON NX1P2 e NX-ECC203	28
3.2	NX-ECC202	28
3.3	FH-3050-20	28
3.4	EX-260-SEC1	28
3.5	<i>Sysmac Studio</i> - Estrutura	29
3.6	<i>Sysmac Studio</i> - Rede EtherCAT	29

3.7	Nós e interligações na rede <i>EtherCAT</i>	30
3.8	<i>Sysmac Studio</i> - Cabeceira NX-ECC202 e respectivas cartas	30
3.9	<i>Sysmac Studio</i> - Mapeamento de variáveis	31
3.10	<i>Sysmac Studio</i> - Exemplo de uma secção "IO"(PLC em execução)	33
3.11	<i>Sysmac Studio</i> - Exemplo de uma secção de controlo (PLC em execução)	33
3.12	Botões de controlo do estado do sistema	34
3.13	Diagrama GRAFCET principal	35
3.14	Planificação do sistema	36
3.15	Zona de entrada de rolhas	36
3.16	Sistema vibrador	37
3.17	Tapete de entrada de rolhas	38
3.18	Pinça de entrada de rolhas	38
3.19	<i>ACT Controller</i> - Configuração do servo-motor horizontal para atuação direta através do PLC	39
3.20	Pórtico de entrada	39
3.21	Diagrama GRAFCET do "pórtico"	40
3.22	Diagramas GRAFCET do sistema vibratório e tapete nº1	41
3.23	Zona de entrada de cápsulas	42
3.24	Tabuleiros de cápsulas utilizados	42
3.25	Entrada de cápsulas - Tapete dois	43
3.26	Entrada de cápsulas - Tapete três	43
3.27	Entrada de cápsulas - Tapete quatro	43
3.28	Entrada de cápsulas - Módulo de transferência nº1	44
3.29	Entrada de cápsulas - Módulo de transferência nº2	44
3.30	Diagrama GRAFCET da entrada de tabuleiros	45
3.32	Diagrama GRAFCET de funcionamento da mesa e pinça nº1	47
3.33	Diagrama GRAFCET de funcionamento da pinça nº2	48
3.34	Manipulador (Hornet 565)	49
3.35	Pinça pneumática ZIMMER	49
3.36	Sistema de visão	49
3.37	Diagrama GRAFCET de funcionamento do manipulador	50
3.38	Zona de saída de produto e embalagem - desenho	53
3.39	Zona de saída de produto	53
3.40	Pinça de remoção de produto da zona de montagem e tapete nº5	53
3.41	Prensa inspeção e saída de produto	54
3.42	Diagrama GRAFCET de funcionamento da pinça de saída de produto	55
3.43	Diagrama GRAFCET de funcionamento do tapete nº5	56
3.44	Diagrama GRAFCET de funcionamento do tapete nº6 e inspeção final	56
3.45	OMRON NB10W-TW01B [19]	58
3.46	<i>NB-Designer</i> - Visão geral	58
3.47	<i>Sysmac Studio</i> - Endereços de memória de variáveis	59
3.48	<i>NB-Designer</i> - Endereços de memória de variáveis	60
3.49	Consola - página principal	61
3.50	Consola - página da célula	61
3.51	Consola - página do módulo de entrada de rolhas	62
3.52	Consola - página do módulo de entrada de tabuleiros de cápsulas	62
3.53	Consola - página do módulo de montagem	63
3.54	Consola - página do módulo de saída de produto	63

3.55	Consola - página do manipulador	64
3.56	Consola - página de receitas	64
3.57	Consola - página de alarmes	65
4.1	Receita GOLD - elementos de manipulação	67
4.2	Receita LONDON Nº1 - elementos de manipulação	69
4.3	Receita 1969 - elementos de manipulação	70
A.1	Módulo de entrada de rolhas - fase um	75
A.2	Módulo de entrada de rolhas - fase dois	75
A.3	Módulo de entrada de rolhas - fase três (atualmente)	75
A.4	Módulo de montagem - fase um	76
A.5	Módulo de montagem - fase dois	76
A.6	Módulo de montagem - fase três	76
A.7	Módulo de montagem - fase quatro	76
A.8	Módulo de montagem - fase cinco (atualmente)	76
A.9	Módulo de saída de produto - fase um	77
A.10	Módulo de saída de produto - fase dois (atualmente)	77

Lista de Tabelas

3.1	Sinais partilhados entre robô e autômato	52
4.1	Resultados obtidos utilizando a receita GOLD - antes de aperfeiçoamentos	68
4.2	Resultados obtidos utilizando a receita GOLD - depois de aperfeiçoamentos . . .	68
4.3	Resultados obtidos utilizando a receita LONDON N°1 - antes de aperfeiçoamentos	69
4.4	Resultados obtidos utilizando a receita LONDON N°1 - depois de aperfeiçoamentos	69
4.5	Resultados obtidos utilizando a receita 1969 - antes de aperfeiçoamentos	70
4.6	Resultados obtidos utilizando a receita 1969 - depois de aperfeiçoamentos	70

Abreviaturas e Símbolos

PLC	Autómato, do inglês <i>Programmable logic controller</i>
GRAFCET	Metodologia para desenho de diagramas sequenciais, do francês <i>Grappe Fonctionnel de Commande, Étapes Transitions</i>
SFC	Linguagem de programação, do inglês <i>Sequence Function Chart</i>
FBD	Linguagem de programação, do inglês <i>Function Blocks Diagram</i>
IL	Linguagem de programação, do inglês <i>Instructions List</i>
ST	Linguagem de programação, do inglês <i>Structured Text</i>
LD	Linguagem de programação, do inglês <i>Ladder Diagram</i>
IEC	Comissão Internacional de Eletrotécnica, do inglês <i>International Electrotechnical Commission</i>
HMI	Interface Homem-Máquina, do inglês <i>Human-Machine Interface</i>
E/S	Entradas e saídas
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo inicial apresenta-se uma breve introdução e contextualização do projeto desenvolvido, bem como as suas motivações e objetivos. Muitos dos conceitos discutidos são explorados com maior detalhe nos capítulos seguintes.

1.1 Contexto e motivação

Por forma a auxiliar a compreensão da finalidade desta dissertação, esta secção contém alguma informação para enquadrar o projeto.

Automação pode definir-se como um procedimento no qual são aplicadas tecnologias e equipamentos em sistemas produtivos, com a finalidade de os tornar autónomos. Este conceito tem vindo a tornar-se cada vez mais aliciante no mundo industrial dada a sua possibilidade de aumentar a eficiência, maximizar a produção e reduzir a interferência humana.

Os sistemas automatizados industriais são geralmente bastante específicos e o seu desenvolvimento é um esforço empresarial complexo que envolve a integração de diversas competências e o planeamento de várias fases do projeto.

É neste contexto que surge o projeto, resultado de um estágio na empresa RobotSol Engenharia Industrial S.A., com o objetivo de criar um produto inovador na área das rolhas capsuladas.

Uma rolha capsulada é uma rolha de cortiça que possui, na parte superior, uma cápsula (colada). Hoje em dia, a sua utilização é uma questão central tanto na indústria do vinho como na das bebidas espirituosas. Os produtores deste tipo de bebidas vêm-se forçados a melhorar constantemente a qualidade dos seus produtos e diferenciarem-se da concorrência. O aspeto visual das garrafas, nomeadamente das tampas, é um fator de aposta constante, que tem o objetivo de distinguir um produto aos olhos do consumidor. Desta maneira, tem vindo a criar-se uma elevada diversidade de modelos de cápsulas, que podem diferir entre si pela forma, tamanho e material. Esta realidade provoca uma necessidade de investigação e desenvolvimento na área dos sistemas automatizados de produção deste tipo de rolha, por forma a gerar uma solução versátil e capaz de abranger os vários modelos de cápsulas exigidos pelo mercado.

1.1.1 RobotSol

A RobotSol Engenharia Industrial S.A. é uma empresa especializada em desenvolver sistemas industriais de automação e robótica, personalizados conforme as necessidades dos seus clientes. As suas soluções possuem elevado valor acrescentado a nível industrial dada a sua singularidade e fiabilidade.

Esta instituição propôs para objeto de tese o desenvolvimento de um projeto de complexidade elevada: um sistema automático de produção de rolhas capsuladas.

1.1.2 Identificação do problema

A produção automática de rolhas capsuladas encontra dificuldades sempre que existe variedade dos seus elementos constituintes (quando as cápsulas ou as rolhas possuem formas, tamanhos ou materiais distintos). Estes sistemas autónomos exigem geralmente a limitação a um tipo de cápsula e rolha.

Assim, pretende-se criar um sistema automatizado que, a partir de vários tipos de rolhas de cortiça e cápsulas, produza diversos modelos de rolhas capsuladas. Nos dias de hoje existem linhas de montagem industriais capazes de fabricar grande parte das rolhas capsuladas do mercado. Porém a alteração do modelo de produção acarreta geralmente a necessidade de trocar determinados componentes na linha e afiná-los manualmente, o que aumenta o tempo de preparação (*setup time*). Este projeto é inovador pois utiliza componentes e métodos de montagem versáteis e dinâmicos, capazes de abranger uma elevada gama de rolhas e cápsulas. Evitando a troca de componentes na linha é possível ganhar-se fiabilidade e eficiência, algo que se irá refletir num aumento da capacidade produtiva.

O projeto realizou-se em simultâneo com a dissertação e como tal teve a duração de quatro meses.

1.2 Objetivos

Esta dissertação passa pelo desenvolvimento do sistema proposto pela empresa, dando principal foco no seu *layout* e na programação do autómato e consola.

O *layout* é uma planificação do funcionamento do sistema. Tentar-se-à produzir uma solução que utilize componentes versáteis e que se adequem a vários tipos de produtos.

O autómato é o componente que controla toda a produção e será programado conforme a organização do sistema.

A consola é um painel tátil que ajuda a interagir com o sistema e será desenhada e programada para funcionar como interface entre o operador e o sistema.

O principal objetivo será o desenvolvimento de um sistema automatizado que fabrique pelo menos dois modelos de rolhas capsuladas.

Como objetivo secundário definiu-se uma cadência de produção com valores acima dos 8 produtos por minuto.

1.3 Estrutura da dissertação

Para além da introdução, esta dissertação contém mais 4 capítulos. No capítulo 2, descreve-se o estado da arte e são apresentados projetos relacionados. No capítulo 3, exploram-se os requisitos e restrições definidos para o projeto e é brevemente apresentado um planeamento temporal. Após isso descreve-se o sistema desenvolvido e justificam-se as escolhas no desenvolvimento da solução. No capítulo 4, apresentam-se os resultados atingidos pelo projeto desenvolvido. No capítulo 5 resumem-se as conclusões alcançadas, bem como propostas de desenvolvimento futuras para o sistema.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Automação industrial pode definir-se "como um conjunto de técnicas destinadas a tornar automáticos vários processos na indústria, substituindo o trabalho muscular e mental do homem por equipamentos diversos"[20]. A chegada da automação, para além de melhorar a qualidade de vida do ser humano, trouxe técnicas e equipamentos que aumentaram a produção e a qualidade dos produtos [21].

Pode considerar-se que a maior revolução industrial ocorreu com a chegada dos automatismos que inovaram completamente a produção em série [22]. Esta transformação foi apenas possível graças a uma elevada organização nos métodos utilizados nesta área e ao estabelecimento de normas (*standards*) de desenvolvimento e funcionamento.

Neste capítulo são explorados vários tópicos relevantes para o desenvolvimento do projeto. Inicialmente apresentam-se e explicam-se componentes industriais de automatização de processos produtivos, linguagens de programação de autómatos e a metodologia GRAFCET. De seguida descreve-se o processo de capsulamento de rolhas de cortiça e determinadas características pertinentes. Por último apresentam-se exemplos de sistemas automáticos na indústria e características pertinentes.

2.1 Soluções de controlo industrial

Atualmente todos os sistemas automatizados podem ser divididos em duas partes essenciais: a parte operacional, que engloba todos os componentes que têm uma interação direta com o sistema, como os dispositivos de acionamento (atuadores) e os de deteção (sensores); e a parte de controlo, que está relacionada com a programação do sistema e é normalmente realizada por um autómato, que comunica com todos os componentes do sistema por forma a reconhecer as entradas, processar a lógica e atualizar as saídas em tempo real, garantindo os tempos de resposta estipulados.

2.1.1 Relés industriais

Os primeiros passos da automação industrial foram dados tendo por base o relé.

Este componente é geralmente descrito como um interruptor eletromagnético. Aplicando uma tensão na bobina, um campo magnético é gerado. Este campo magnético atrai os contactos do relé, fazendo com que estes estabeleçam uma conexão. Esses contactos podem ser considerados como um interruptor, que quando fechado permite a passagem de corrente elétrica entre dois pontos [1].

A figura seguinte exemplifica o uso de um relé que ativa um motor (M) quando um botão é pressionado. Ao fechar o circuito de cor azul, a bateria (DC) excita a bobina que fecha o circuito cor-de-laranja, ativando o motor (a partir da fonte de corrente alternada (AC)).

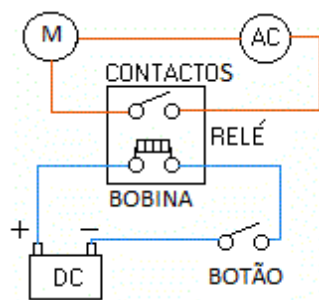


Figura 2.1: Exemplo de um circuito baseado num relé ([1], adaptado)

Consegue-se assim ligar ou desligar equipamentos de elevada potência (como motores) utilizando circuitos de baixa potência.

Criando combinações destes elementos é possível executar operações básicas da álgebra booleana. Por exemplo, a função booleana *AND* é realizada ligando os contactos de relés em série e a função *OR* ligando os contactos em paralelo [23].

Desta forma eram desenvolvidos circuitos elétricos industriais capazes de controlar processos produtivos e o funcionamento de máquinas.

2.1.2 Autómatos programáveis

Um controlador lógico programável (PLC ou autómato programável, exemplo na figura 2.2) é um computador digital aplicado à automação de processos eletromecânicos. Este surgiu em resposta às necessidades da indústria automóvel americana, que era obrigada a redefinir as ligações de circuitos baseados em relés sempre que os modelos de produção eram alterados [1]. Este computador monitoriza continuamente o estado dos dispositivos de entrada e toma decisões baseadas num programa personalizado por forma a controlar o estado dos dispositivos de saída.

Os PLCs têm a vantagem de serem robustos, imunes ao ruído elétrico, resistentes à vibração, ao impacto e a amplos intervalos de temperatura e humidade. Para além disso, são considerados sistemas em tempo real: os sinais de saída são gerados ou alterados em resposta a condições de entrada num intervalo de tempo limitado [24]. Qualquer linha de produção, máquina ou processo consegue ser otimizada através da integração de um destes equipamentos.

Na sua constituição encontram-se um ou mais módulos de entrada e saída (E/S), uma unidade de processamento central (processador), módulos de co-processamento, uma fonte de alimentação

e dispositivos. Estes elementos funcionam em conjunto para ler informações de entrada, processá-las e enviar dados de saída [25]. As entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) são chamadas lógicas pois apenas assumem valor zero ou um. As entradas podem adquirir informação lida por sensores e as saídas podem ativar mecanismos ou motores [26].



Figura 2.2: Exemplo de um autómato [2]

Normalmente os autómatos têm a vantagem de serem modulares: permitem a adição de módulos (nomeadamente cartas de E/S, exemplo na figura 2.3) que aumentam o número de conexões disponíveis [25].



Figura 2.3: Exemplo de uma carta [3]

Em funcionamento normal (*run mode*) um autómato executa uma etapa de inicialização. Caso não ocorram erros é de seguida executada a seguinte sequência de forma cíclica:

1. Leitura das entradas
2. Execução do programa
3. Processamento das requisições de comunicação
4. Diagnóstico do processador
5. Escrita das saídas

O período de cada ciclo ronda geralmente poucos milissegundos, conforme o tamanho do programa em execução [27].

Estes equipamentos conseguem comunicar com uma variedade de dispositivos inteligentes (como controladores de robôs, inversores de frequência ou câmaras), porém não existe uma interação direta com operadores humanos. Para tal, é necessário o uso de consolas (ou HMIs) [24]. Estes elementos encontram-se descritos na secção 2.1.4.

A programação dos PLCs é realizada recorrendo a programas específicos, desenvolvidos pelos próprios fornecedores. Estes programas conseguem ser bastante distintos entre si em termos de aspeto, porém geralmente as linguagens para programação são comuns e encontram-se definidas na norma IEC61131.

2.1.3 Norma IEC61131

Inicialmente muitos dos fornecedores desenvolveram PLCs com diferentes tempos de ciclo e linguagens de programação. Porém, por forma a melhorar a compatibilidade e interoperabilidade entre os dispositivos, a Comissão Internacional de Eletrotecnia (IEC) desenvolveu a norma IEC 61131 [28].

2.1.3.1 Modelo de aplicação

O modelo definido pela norma especifica quatro elementos: a configuração, o recurso, a tarefa e a unidade de organização de programa (POU).

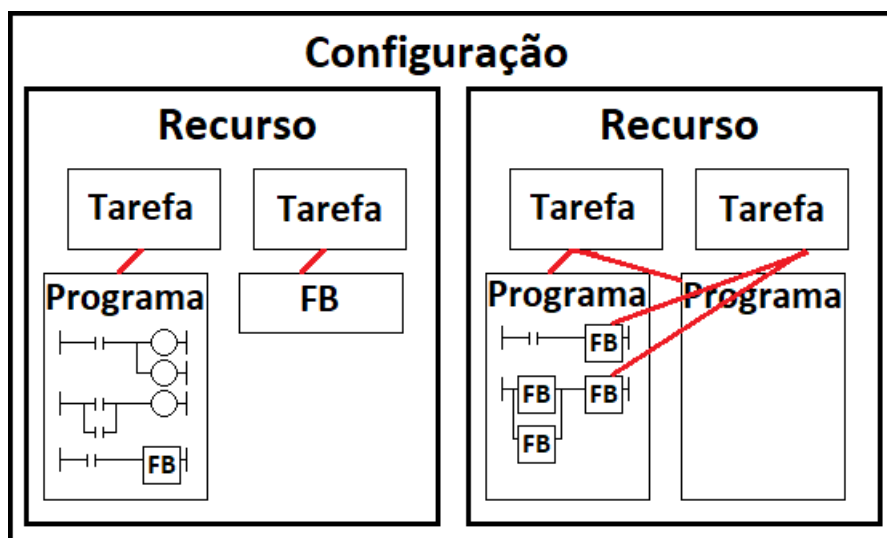


Figura 2.4: Modelo de arquitetura definido pela norma IEC61131

O PLC utiliza uma **configuração** específica, composta por vários recursos. Estes são agrupados no seu sistema de controlo. Para além disso, a configuração dispõe de meios que proporcionam a troca de dados entre estes recursos.

Um **recurso** são unidades de processamento central, capazes de executar uma ou mais tarefas atribuídas. Configurações e recursos podem ser iniciados e interrompidos através da interface do operador ou de funções do sistema.

Uma **tarefa** é constituída por uma ou mais POU's. Esta é realizada de acordo com as suas especificações e prioridade, geralmente de forma cíclica ou desencadeada por um evento.

Uma **unidade de organização de programa**, segundo a norma, pode ser uma função (*function*), um bloco de funções (*function blocks ou FB*) ou um programa. Esta é constituída pela parte de declaração e pelo corpo. Na declaração são especificados os tipos de variáveis utilizadas e os seus endereços (físicos ou lógicos). No corpo encontra-se o código do programa numa das cinco linguagens definidas pela norma: ST (*Structured Text*), IL (*Instruction List*), SFC (*Sequential Function Chart*), FBD (*Function Block Diagram*) ou LD (*Ladder Diagram*). Um programa de PLC é composto por todos os elementos e estruturas (em qualquer que seja a linguagem), funções e blocos de funções [24] [29].

2.1.3.2 Linguagens de programação

A parte 3 desta norma especifica um conjunto unificado de linguagens de programação para PLCs. São definidas duas linguagens textuais (IL e ST) e três linguagens gráficas (LD, FBD, SFC) [30] [31].

As linguagens textuais têm a desvantagem de que todas as linhas de código necessitam de ser verificadas. Já numa linguagem gráfica é bastante mais fácil perceber a lógica de um algoritmo. Porém nestes tipos de linguagens o desenho pode tornar-se demorado, nomeadamente quando se pretende realizar ajustes no funcionamento: em vez de se adicionar apenas uma linha de código como nas linguagens textuais, pode ser necessário redesenhar completamente a estrutura por forma a permanecer perceptível.

ST *Structured Text*, ou "texto estruturado" em português, é uma linguagem baseada e assemelhada sintaticamente a *Pascal*¹. É composta basicamente por comandos e expressões e ignora maiúsculas e minúsculas. O sinal "ponto e vírgula" (;) separa comandos. Esta linguagem suporta instruções complexas e/ou agrupadas como: ciclos iterativos, execuções condicionais e funções [32].

Exemplo 1 - Ciclo:	Exemplo 2 - Condição:	Exemplo 3 - Função:
<pre> WHILE x DO y := 10; END_WHILE; </pre>	<pre> IF x DO y := 10; END_IF; </pre>	<pre> FUNCTION quadrado INPUT_VAR x : INT; END_VAR OUTPUT_VAR y : INT; END_VAR y := x * x; END_FUNCTION </pre>

¹Linguagem de programação de alto nível

IL *Instruction List* (lista de instruções) é uma linguagem comumente designada como "orientada ao acumulador" pelo facto de que cada instrução utiliza ou altera o conteúdo do acumulador (um tipo de memória *cache* interna). Por esta razão, uma IL deve começar sempre com o operador LD (*Load in accumulator command*) [33].

Uma lista de instruções é composta por uma série de instruções (uma por linha). Cada uma destas instruções possui um operador, um modificador (opcional) e um operando (opcional) [30].

O código seguinte exemplifica o uso desta linguagem para a ativação de uma lâmpada (C) quando um interruptor se encontra ligado (A) e, ao mesmo tempo, outro interruptor (B) se encontra desligado ([34], adaptado).

```
START:  LD      A
        ANDN    B
        ST      C
```

FBD *Function Blocks Diagram* (diagrama de blocos de função) é uma linguagem baseada na representação de um sistema em termos do fluxo de sinais entre os elementos de processamento. Por ser uma linguagem gráfica torna-se mais fácil entender o funcionamento do algoritmo e se a estrutura hierárquica é a apropriada. Para além disso, uma rede FBD pode ser lida da esquerda para a direita dado que as entradas se encontram à esquerda e as saídas à direita de cada um dos blocos de função. Desta forma existe a perceção de uma linha temporal entre o lado esquerdo e o lado direito. É normalmente utilizada para programar ciclos e operações de lógica [4]. A figura seguinte exemplifica o uso de FBD: é realizada a incrementação da variável "i" e passado o valor para a variável "OUT".

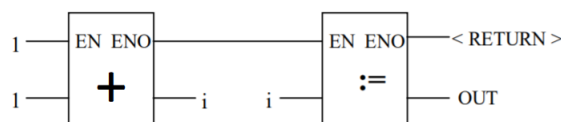


Figura 2.5: Exemplo do uso de FBD ([4], adaptado)

LD *Ladder Diagram*, ou linguagem *Ladder*, foi originalmente desenvolvida para desenhar os circuitos de relés utilizados em processos produtivos. É possível representar todos os elementos dos circuitos elétricos (como botões, válvulas e bobinas) em diagramas *Ladder*. Existem 3 tipos de elementos nesta linguagem:

- entradas (2.6), capazes de ler o valor de uma variável booleana;
- saídas (2.7), que podem alterar o valor de uma variável booleana;
- blocos funcionais, que permitem realizar funções avançadas

Os elementos estão associados às variáveis de um PLC e tanto podem ser internas (memória) como externas (entradas ou saídas físicas).



Figura 2.6: Entrada/Contacto

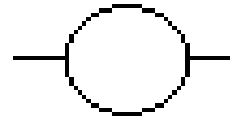


Figura 2.7: Saída/Bobina

A figura seguinte (2.8) exemplifica o uso de LD na ativação de um sistema através de um botão ("Iniciar"). Quando o botão "Parar" é ativado o circuito é interrompido, desligando o sistema.

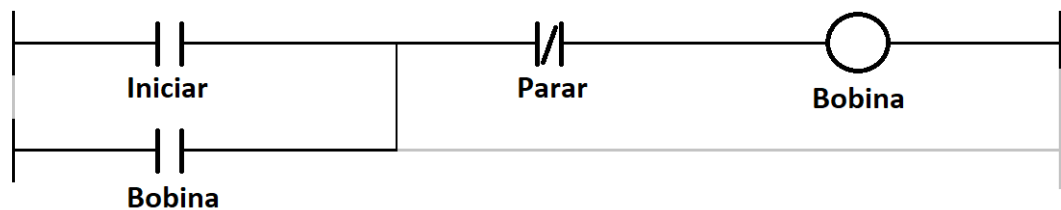


Figura 2.8: Exemplo do uso de LD)

As barras verticais (*bus bars*) à esquerda e à direita simbolizam os pólos de uma bateria e as barras horizontais (*rungs*) fios de ligação. Desta forma é possível imaginar o fluxo lógico (temporal) como sendo da esquerda para a direita. As entradas podem ser vistas como os contactos e as saídas como as bobinas de relés.

SFC *Sequence function charts*, ou gráficos de sequência de funções, é uma linguagem que possui dois principais conceitos subjacentes: etapas e transições. Uma etapa pode ser definida como uma função ou estado de um sistema. Uma transição é, como o nome indica, um elemento que valida a mudança de uma etapa para a seguinte. Os programas em SFC podem incluir técnicas de programação lógica padrão, como ciclos realimentados e ramificações (paralelas ou alternativas) [35]. Estes diagramas (figura 2.9) podem ser projetados com o auxílio de diagramas de estados, comumente desenhados em GRAFCET 2.2.

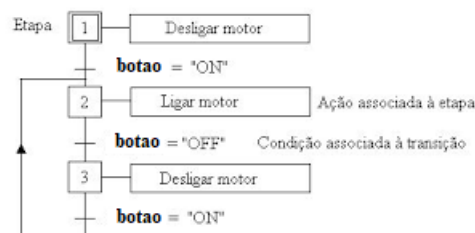


Figura 2.9: Exemplo do uso de SFC)

2.1.3.3 Conclusão

Todas as linguagens partilham elementos comuns da norma IEC 61131. As variáveis e funções são definidas por estes elementos comuns, pelo que podem ser utilizadas no mesmo programa diferentes linguagens da norma [30].

De uma forma genérica pode-se ter em conta que: SFC é vantajoso por ser de fácil manutenção e funcionar bem em aplicações com elevada repetibilidade de processos e operações paralelas. Ladder é uma linguagem aceite universalmente, vantajoso em aplicações que utilizam principalmente E/S digitais e processamento básico e é de fácil alteração de código. ST e IL são as linguagens de execução mais rápida e altamente aceites na Europa. Para além disso ST também é bastante superior na implementação de operações matemáticas complexas. FBD pode ser bastante vantajoso em aplicações com E/S digitais e processamento básico.

Nem todos os autómatos oferecem a possibilidade de programar em qualquer linguagem devido à falta de memória ou velocidade do processador, pelo que a escolha também se encontra dependente do equipamento em questão. Caso haja liberdade de escolha deve-se decidir conforme a aplicação e o sistema a controlar.

2.1.4 Consolas

As consolas ou HMIs são painéis de controlo industriais que estabelecem a ligação entre um sistema e um utilizador. Estas são capazes de fornecer informação acerca de máquinas ou mesmo da produção. Estes dispositivos existem nos mais variados formatos, desde ecrãs embutidos em máquinas, monitores de computador ou mesmo *tablets*. Independentemente do seu aspeto, a sua finalidade é fornecer dados acerca do desempenho e progresso relativamente à parte mecânica e aceitar comandos (que permitem ao utilizador controlar o comportamento do sistema).



Figura 2.10: Exemplo de uma consola [5]

Apesar das consolas se encontrarem extremamente interligadas com os sistemas, não realizam (ou não devem realizar) qualquer função de controlo. Apenas deverão comunicar com autómatos para obter e exibir dados a operadores ou solicitar uma ação.

2.1.5 Atuadores

Os atuadores são dispositivos mecânicos que convertem energia (geralmente armazenada utilizando ar, eletricidade ou um líquido) nalgum tipo de movimento. Este processo é normalmente desencadeado por um comando externo de energia relativamente baixa - sinal de controlo. Conforme a fonte de energia associada ao atuador - corrente elétrica, pressão hidráulica ou pressão pneumática - estes podem-se classificar como elétricos, hidráulicos ou pneumáticos.

2.1.5.1 Pneumáticos

Um atuador pneumático é um dispositivo que utiliza ar comprimido para transmitir e controlar energia mecânica. Este tipo de atuadores são altamente utilizados na indústria devido à sua elevada simplicidade, durabilidade, fiabilidade e velocidade. Para além disso conseguem ser das opções mais económicas no mercado. Apesar das vantagens, estes equipamentos encontram-se limitados no que diz respeito à precisão, força e regularidade da velocidade [36].

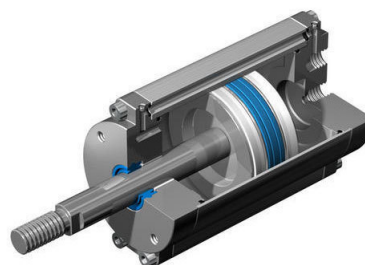


Figura 2.11: Exemplo de um atuador pneumático [6]

Estes dispositivos possuem geralmente no seu interior um ou mais cilindros, cujas posições são controladas pelo estado de válvulas. Por exemplo, quando uma válvula abre, o ar comprimido entra ou sai movimentando um cilindro. Os sistemas de controlo pneumático podem ser projetados na forma de circuitos. Um circuito pneumático é formado por vários componentes, como cilindros, válvulas de controlo direcional ou válvulas de controle de fluxo. O ar é comprimido em compressores de ar e transmitido em tubos pneumáticos.

2.1.5.2 Hidráulicos

Os atuadores hidráulicos são bastante semelhantes aos pneumáticos, porém substituem o ar comprimido por um fluido. Uma bomba gera um fluxo de fluido, no qual a pressão, direção e taxa de fluxo são controladas por válvulas. Os atuadores convertem a energia do fluido em energia mecânica [37].

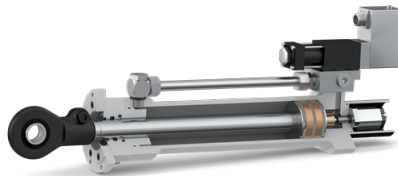


Figura 2.12: Exemplo de um atuador hidráulico [7]

Estes dispositivos são capazes de transmitir uma elevada quantidade de energia a velocidades moderadas. Porém relativamente aos pneumáticos são bastante mais complexos, necessitam de uma manutenção mais cuidada e são normalmente das opções mais caras do mercado [38].

2.1.5.3 Elétricos

Os atuadores elétricos são bastante utilizados em sistemas de controlo pelo facto de que, ao contrário dos pneumáticos e hidráulicos que necessitam de bombas e compressores para funcionarem, facilmente se obtém uma fonte de energia elétrica. Para além disso possuem as vantagens de serem limpos, eficientes, facilmente conectados (fios elétricos tornam-se mais simples do que tubos) e controlados por unidades eletrónicas [39]. Estes dispositivos possuem também certas desvantagens, nomeadamente a elevada complexidade da configuração em que se podem encontrar e a inferior aceleração do movimento (relativamente aos atuadores anteriormente explorados) [38].

Existem 3 tipos de atuadores usualmente utilizados em sistemas industriais:

- Motores de corrente alternada (CA)
- Motores de corrente contínua (CC)
- Motores de passo



Figura 2.13: Exemplo de um motor CA



Figura 2.14: Exemplo de um motor CC

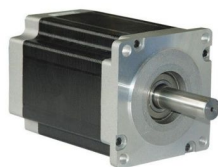


Figura 2.15: Exemplo de um motor de passo

2.1.6 Sensores

Os sensores são dispositivos frequentemente utilizados na indústria para medir parâmetros físicos de um sistema ou componente. Estes são capazes de converter a sua medição num sinal elétrico digital ou analógico, que pode servir como entrada num PLC. Estes componentes podem ser classificados em: proximidade, posição/velocidade, força/pressão ou vibração/aceleração.

2.1.6.1 Proximidade

Os sensores de proximidade são largamente utilizados na indústria, nomeadamente em tapetes transportadores e ferramentas de máquinas. O seu sinal elétrico é normalmente digital e alterna conforme a presença ou ausência de um objeto. Os sensores de proximidade podem ser mecânicos, óticos, indutivos ou capacitivos.

Mecânicos Os sensores de proximidade mecânicos (2.16) são essencialmente interruptores e podem assumir as mais diversas formas.



Figura 2.16: Exemplo de um sensor de proximidade mecânico [8]

Estes devem ser utilizados:

- quando o contacto físico é possível;
- quando é necessária uma posição definitiva;

- em operações críticas ou situações de segurança críticas;
- quando condições ambientais proíbem o uso de outro tipos de sensores.

Óticos Estes sensores utilizam sempre uma fonte de luz (emissor *LED*) e um detetor de luz (recetor, foto-transistor). Existem três modos de operação possíveis:

- feixe contínuo ou barreira - figura 2.17;
- difuso - figura 2.18;
- retro-reflexivo - figura 2.19.

Feixe contínuo Neste modo de operação o emissor e o recetor de luz encontram-se separados em duas unidades, criando-se uma "barreira". O sensor será atuado quando um objeto intercepar o feixe luminoso por completo.

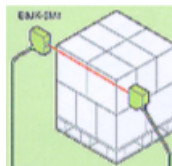


Figura 2.17: Sensor ótico de barreira

Difuso Este tipo de sensor integra o emissor e o recetor na mesma unidade. O emissor envia um feixe de luz, o qual será refletido e detetado pelo refletor caso exista um objeto reflexivo no caminho.

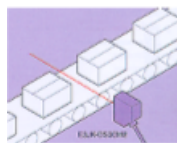


Figura 2.18: Sensor ótico difuso

Retro-reflexivo O sensor retro-reflexivo também integra o emissor e o recetor na mesma unidade. Para além disso necessita de um espelho prismático, que irá refletir a luz para o recetor caso não haja objeto e vice-versa. [40]



Figura 2.19: Sensor ótico retro-reflexivo

Indutivos Os sensores indutivos (figura 2.20) aproveitam a alteração do campo magnético local para detetar a presença de um alvo metálico.



Figura 2.20: Exemplo de um sensor indutivo [9]

Capacitivos Os sensores capacitivos (figura 2.21) utilizam a alteração da capacitância local provocada por objetos não metálicos para a sua deteção.



Figura 2.21: Exemplo de um sensor capacitivo [10]

Magnéticos Os sensores magnéticos (figura 2.22) são capazes de detetar a presença de ímanes permanentes. O seu funcionamento é baseado principalmente no efeito de Hall. Estes sensores são altamente utilizados na indústria para detetar estados de atuadores.



Figura 2.22: Exemplo de sensores magnéticos [11]

2.1.6.2 Posição e velocidade

Potenciómetro O potenciómetro (figura 2.23) pode ser utilizado como sensor de posição. Este componente funciona com base no "divisor de tensão" e cria um sinal analógico que varia conforme a posição.



Figura 2.23: Exemplo de um potenciômetro [12]

Encoder Um *encoder* (figura 2.24) é um sensor digital utilizado para obter a posição de um atuador atuador. Este consiste num disco de plástico ou vidro que roda entre uma fonte de luz e um par de foto-transístores. No disco encontram-se desenhados setores escuros e claros alternadamente, e portanto são gerados pulsos durante a sua rotação.



Figura 2.24: Exemplo de um *encoder* [13]

Encoder incremental Nos *encoders* incrementais a posição é determinada contando os pulsos. A direção de rotação é determinada utilizando dois recetores. Existe geralmente um pulso de início que determina a posição inicial do disco (figura 2.25).

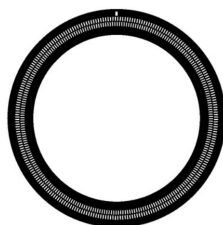


Figura 2.25: Exemplo de um disco de um *encoder* incremental [14]

Encoder absoluto Os *encoders* absolutos possuem um código diferente para cada posição angular. Assim sendo, não necessitam de um pulso de início dado que determinam exatamente a posição em que se encontram. Normalmente a sua codificação segue o código binário (figura 2.26). Este tipo de *encoder* é bastante mais complexo e caro relativamente aos incrementais.



Figura 2.26: Exemplo de um disco de um *encoder* absoluto [14]

2.2 GRAFCET

Durante a fase de conceptualização de um sistema industrial, e previamente à fase de programação de um autómato, deve desenvolver-se uma descrição funcional do comportamento sequencial do controlo do sistema em questão. Para tal, é comum a utilização da metodologia GRAFCET, baseada em máquinas de estados. Esta encontra-se definida na norma IEC 60848:2013 e ajuda a eliminar potenciais erros na conceção do sistema. Em termos de lógica e aspeto é bastante semelhante à linguagem de programação SFC, explorada no parágrafo 2.1.3.2. Podemos considerar 3 elementos essenciais: etapas, transições e linhas [41].

As **etapas** podem ser definidas como um estado invariante do sistema no que diz respeito às entradas e saídas dos automatismos. As etapas podem encontrar-se ativas ou inativas, conforme estejam a ser executadas ou não as tarefas programadas. São representadas por um retângulo, devidamente numeradas tentando especificar uma sequência do processo. A entrada numa etapa é realizada na zona superior e a saída na zona inferior.

As **transições** possuem condições associadas e funcionam como barreiras entre duas etapas consecutivas. O seu disparo provoca a ativação de todas as etapas imediatamente consecutivas e a desativação de todas as etapas anteriores. São representadas graficamente como barras perpendiculares às respetivas linhas associadas. Uma transição encontra-se validada quando todas as etapas que a precedem estão ativas e disparada quando está validada e a sua condição é verdadeira.

Uma **linha** (ou arco) é um segmento de reta que une uma transição a uma etapa ou vice-versa, mas nunca elementos iguais entre si.

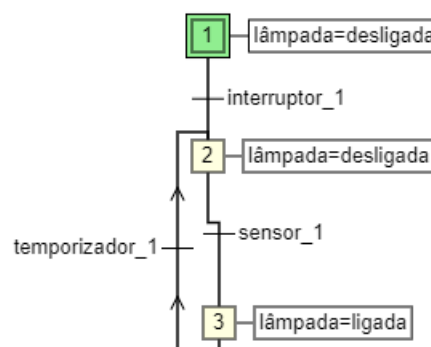


Figura 2.27: Exemplo de um diagrama em GRAFCET

De uma forma genérica pode ser considerada a expressão seguinte:

$$E_i = \overline{E_{i+1}} \text{Reset}(E_{i-1} T_i + E_i)$$

Em que:

- E_i - Etapa presente
- E_{i-1} - Etapa anterior

- E_{i+1} - Etapa seguinte
- T_i - Transição entre E_i e E_{i+1}
- *Reset* - Ligação de um sinal de reinício (botão de emergência por exemplo)

A elaboração de diagramas de GRAFCET apresenta-se como uma excelente opção para uma mais fácil interpretação do problema e do sistema. Facilita também a passagem a código em qualquer uma das linguagens de programação exploradas anteriormente.

2.3 Capsulamento de rolhas

2.3.1 Componentes

As rolhas de cortiça capsuladas, como descrito no capítulo anterior, são essencialmente compostas por dois elementos: a rolha de cortiça e a cápsula. Esta pode ser "de madeira, PVC, porcelana, metal, vidro ou outros materiais" [42].

As rolhas de cortiça para capsulamento possuem dos mais variados tamanhos, porém as medidas mais comuns são (comprimento por diâmetro, em milímetros):

- 27x20 milímetros
- 27x19,5 milímetros
- 27x18,5 milímetros
- 24x17 milímetros
- 18x13,5 milímetros

Para além disso, por ser um produto natural, possui uma incerteza dimensional (normalmente cerca de dois milímetros relativamente ao tamanho tabelado) associada que deverá ser considerada quando se pretende a sua manipulação de forma automatizada [43].

As cápsulas são peças bastante diversificadas tanto no tamanho como na forma. Já a sua incerteza dimensional é bastante inferior à das rolhas.



Figura 2.28: Rolhas capsuladas [15]

2.3.2 Processo de produção

A capsulagem é um processo em que as duas partes da rolha capsulada são unidas através da operação de colagem [44]. A produção automatizada deste tipo de produto exige a passagem por certas etapas, as quais garantem não só a sua qualidade mas também a eficiência da sua produção [45].

Inicialmente os componentes entram no sistema (tendo em atenção as suas orientações e posições). No caso das rolhas de cortiça deve existir uma escolha prévia visto poder vir com defeito dado o seu carácter natural. Ao evitar que rolhas com defeitos acedam às operações seguintes aumenta-se a eficiência do processo.

Quando ambos os componentes se encontram prontos para a montagem, é colocada cola no topo da rolha de cortiça e de seguida a cápsula (com precisão, por forma a que a rolha entre na sua ranhura).

Após isto segue-se a prensagem, que é uma fase fulcral visto que dá coesão ao produto como um todo e obriga a que a secagem da cola se realize numa determinada posição.

2.4 Exemplos de sistemas automáticos

2.4.1 Equipamento de capsular rolhas CAP-100

O equipamento CAP-100 produzido pela empresa AzevedosIndústria é um sistema de capsulamento automático de rolhas.



Figura 2.29: Equipamento CAP-100 [16]

Este possui um vibrador de seleção de peças repetitivo para entrada das rolhas de cortiça com sopro para a devida orientação. Para além disso possui:

- um detetor de nível de cola;
- facilidade de operação;
- dimensões reduzidas;
- cadência elevada (5500-6000 rolhas/hora);

- tecnologia de motores de passo;
- sistema de rejeição de rolha/cápsula em casos de não conformidades.

A cadência referenciada e o funcionamento do equipamento apenas se aplica a rolhas com diâmetro e altura constantes (27x21 milímetros). O seu desempenho varia conforme as condições dos produtos iniciais (tamanhos) e deverá ser necessário o aperfeiçoamento mecânico manual [16].

2.4.2 Equipamento de produção de gaiolas de arame para espumantes

O sistema GATIM 40-FB-EVO desenvolvido pela empresa CAMEX tem o objetivo de realizar a produção de gaiolas de arame para utilização em espumantes. Este equipamento utiliza uma mesa rotativa dividida em secções que funcionam como "estações de trabalho". Isto é vantajoso pois diminui o tempo de produção, já em em cada posição é realizada apenas uma tarefa simples. Numa rotação completa da mesa terão sido produzidos tantos produtos como estações ativas. [17]

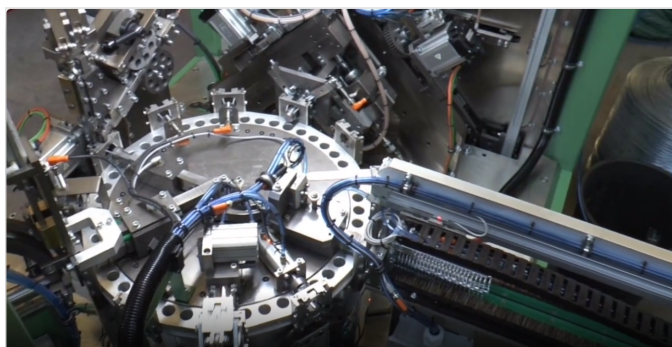


Figura 2.30: Equipamento GATIM 40-FB-EVO [17]

Os principais movimentos da máquina (como a rotação da mesa) são realizados utilizando motores elétricos sem escovas, o que permite alterar as acelerações e desacelerações e aperfeiçoar o sincronismo dos diferentes módulos. Este sistema é flexível dado que existe a possibilidade de alterar certas condições mecânicas manualmente por forma a se adaptar a outro modelo de produção.

2.4.3 Equipamento de medição automática de rolhas capsuladas

O sistema MedCap desenvolvido pela empresa EGITRON tem o objetivo de realizar a medição da largura, altura, peso e humidade de rolhas de cortiça capsuladas. Este equipamento utiliza uma mesa rotativa com cinco pinças (que seguram os produtos). Desta forma, tal como o GATIM 40-FB-EVO, o MedCap possui "estações de trabalho"(cinco, uma por pinça) que diminuem o tempo de processamento dos produtos, já em em cada posição é realizada apenas uma tarefa. O sistema garante que produtos com diâmetros entre os 20 e os 35 milímetros e alturas entre os 27 e os 60 milímetros são admissíveis. Para além disso, as rolhas de cortiça deverão possuir forma cilíndrica e ser naturais, aglomeradas, de mistura ou mesmo sintéticas. Realizando a medição de

dois diâmetros, altura, peso e humidade, a capacidade deste equipamento ronda os cento e sessenta produtos por hora [18].



Figura 2.31: Equipamento MedCap [18]

2.5 Resumo

A automação industrial moderna passa pelo uso de quatro elementos essenciais: o PLC, a consola, os atuadores e os sensores. O autómato é um computador industrial que controla os processos produtivos em tempo real através de alteração de saídas conforme os valores dos sinais de entrada. Este controlo é programado geralmente seguido as linhas da norma IEC61131 (que oferece linguagens de programação e modelos de arquitetura). A interface homem-máquina (consola) é composta normalmente por um ecrã tátil que possibilita a interação com os elementos mecânicos, a seleção de receitas e a obtenção de informações acerca do sistema. Os atuadores podem ser pneumáticos, hidráulicos ou elétricos. Estes são os componentes que realizam os movimentos físicos e constituem a maioria das saídas num computador industrial. Os sensores constituem a maioria das entradas de um PLC e são utilizados para medir características da produção ou de componentes do sistema. A metodologia GRAFCET pode ser utilizada para projetar um equipamento e seu funcionamento genérico, servindo como base para a sua construção mecânica e programação.

As produção de rolas capsuladas compreende seis etapas: entrada e posicionamento das rolas e cápsulas, injeção de cola, montagem, prensagem e saída do produto final.

Capítulo 3

Solução Tecnológica

Este capítulo apresenta a solução tecnológica criada para o projeto e descreve o seu desenvolvimento. Inicialmente apresentam-se os requisitos e restrições previamente definidos para este sistema. Na secção 3.2 descreve-se a parte de controlo utilizada no sistema (autómato), suas configurações e programação genérica. Os modos de funcionamento (estados gerais) são apresentados na secção 3.3. A secção 3.4 explora o desenvolvimento do *layout* e as sequências operativas da máquina (tarefas realizadas, sua ordenação e interligação). A planificação do sistema encontra-se dividida em módulos. Para cada um deles descrevem-se os equipamentos mais relevantes utilizados, apresentam-se diagramas do funcionamento genérico e exploram-se certos detalhes de implementação (algoritmo desenvolvido). A interface homem-máquina e suas funções encontram-se descritas na secção 3.5.

3.1 Especificação de requisitos, restrições do sistema e planeamento

3.1.1 Introdução

A especificação de requisitos de um sistema é uma coleção estruturada de informações que incorpora as condições indispensáveis de um sistema. Como tal, é uma descrição do que o cliente espera que o sistema cumpra, do ambiente do sistema, do perfil de uso do sistema, dos parâmetros de desempenho e da qualidade e eficácia do sistema [46].

Uma restrição é um tipo de requisito imposto pelo ambiente que limita o projeto e designa como o sistema será implementado.

A partir dos requisitos e das restrições do sistema, definiram-se e organizaram-se tarefas num diagrama temporal por forma a planear o trabalho futuro.

3.1.2 Identificação das necessidades

Este projeto não possui um cliente atribuído pelo que as necessidades do sistema foram definidas pela RobotSol e aferidas a partir de problemas verificados em projetos semelhantes.

3.1.2.1 Informações gerais

Genericamente os sistemas automatizados de capsulamento de rolhas encontram-se limitados no que toca à versatilidade e adaptabilidade. Mais concretamente, a utilização de uma elevada variedade de formas e tamanhos de cápsulas e rolhas restringe a eficiência da produção e aumenta o seu custo.

O sistema deverá aceitar:

- rolhas de cortiça de diâmetro entre os 19.5 milímetros e os 25 milímetros e altura entre os 25 milímetros e os 27 milímetros (incertezas de 0.4 milímetros);
- cápsulas entre os 30 milímetros e os 42 milímetros de diâmetro e os 10 milímetros e os 30 milímetros de altura.

Pretende-se a identificação e recolha automática de cápsulas que se encontrem em tabuleiros com largura entre os 280 milímetros e 320 milímetros e comprimento entre os 390 milímetros e 410 milímetros.

Pretende-se que as rolhas de cortiça entrem no sistema sem acondicionamento.

O sistema não deverá necessitar a troca manual de componentes ou ferramentas quando se deseja alterar o modelo de rolha a produzir.

Pretende-se que o sistema seja fácil de operar (interface) e baseado em receitas.

Os produtos finais deverão ser organizados em sacos.

Este sistema deverá possuir uma cadência de produção acima de 8 rolhas por minuto.

Pretende-se que o sistema tenha uma eficiência acima dos 95%.

3.1.2.2 Priorização

As necessidades estabelecidas na subsecção anterior foram priorizadas por forma a definir as tarefas mais importantes a realizar e entender quais são os pontos mais relevantes a explorar.

3.1.3 Restrições

As restrições neste caso são limitações definidas pela empresa.

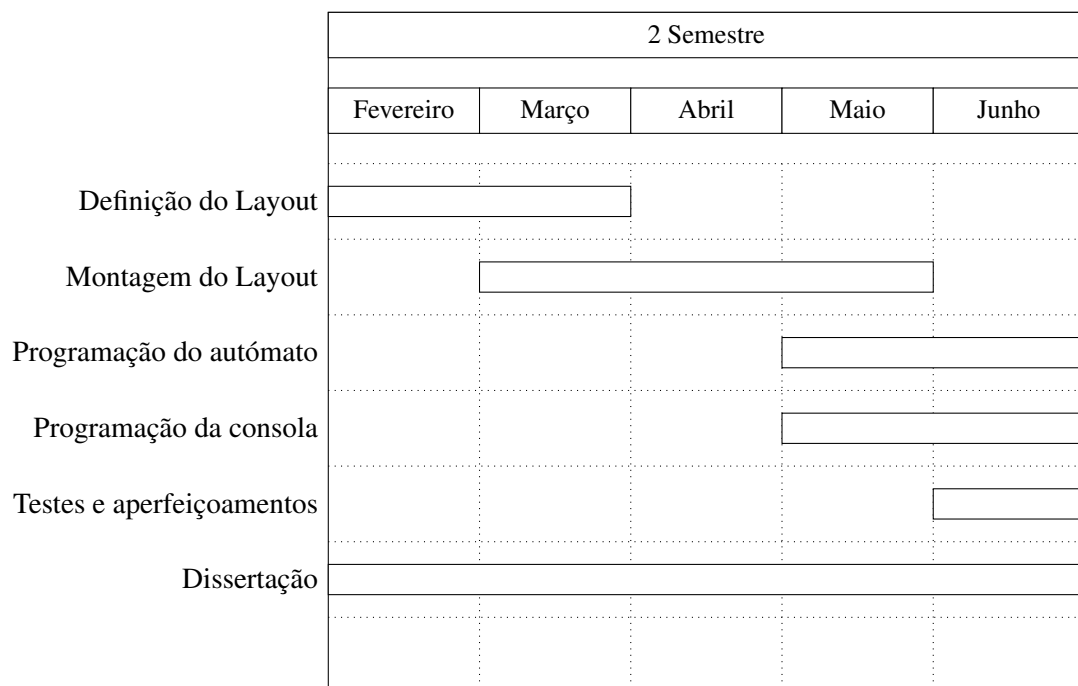
- O controlo do sistema deverá ser realizado por um autómato OMRON NX1P2 Este autómato deverá usar até 5 cartas de entradas digitais NX-ID6142-5, 2 cartas de saídas digitais NX-OD6256-5 e 3 cartas EX-260-SEC1 para atuação pneumática
- A interface com o utilizador deverá ser implementada recorrendo a uma consola OMRON NB10W-TW01B
- A manipulação das cápsulas será utilizando um robô OMRON Hornet 565
- Em caso de necessidade utilizar material em armazém da empresa
- Caso haja necessidade de aquisição de peças, o orçamento máximo é de 200 euros

3.1.4 Planeamento temporal

Definiram-se cinco tarefas genéricas a realizar durante o período de desenvolvimento:

1. Definição do *Layout*
2. Montagem do *Layout*
3. Programação do Autómato
4. Programação da Consola
5. Testes e aperfeiçoamentos

Estas encontram-se exploradas em detalhe no capítulo 3. No diagrama seguinte é possível verificar os intervalos temporais atribuídos a cada uma delas.



3.2 Controlo

Nesta secção explica-se o funcionamento do autómato utilizado para controlo do sistema. Para além disso explora-se a aplicação e métodos utilizados na programação deste equipamento.

3.2.1 Autómato e cartas

Tal como referido no capítulo anterior, utiliza-se o PLC da marca OMRON e modelo NX1P2 (figura 3.1) para o controlo do sistema. Prevendo-se a utilização de sensores, motores eléctricos, atuadores pneumáticos e sistemas de visão para inspeção, foram conectadas desde início

as cinco cartas de entradas digitais disponíveis (NX-ID6142-5), as duas cartas de saídas digitais (NX-OD6256-5), os três módulos de atuação pneumática (EX-260-SEC1, figura 3.4) e o módulo de visão OMRON modelo FH-3050-20 (figura 3.3). As cartas NX-***** foram inseridas em dois módulos (cabeceiras OMRON modelo NX-ECC202 e NX-ECC203 (figura 3.2)). Todos os módulos comunicam segundo o protocolo *EtherCAT*¹. Este autômato possui um único software para controlar e configurar toda a máquina, o *Sysmac Studio*.

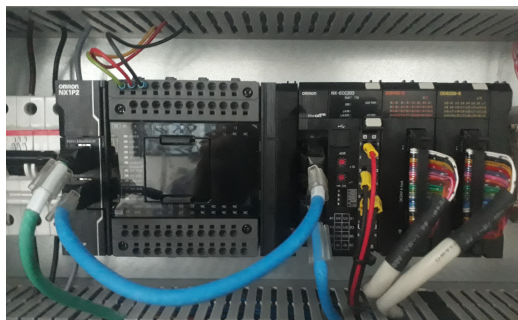


Figura 3.1: OMRON NX1P2 e NX-ECC203



Figura 3.3: FH-3050-20



Figura 3.2: NX-ECC202



Figura 3.4: EX-260-SEC1

3.2.2 Sysmac Studio

O *Sysmac Studio* é um IDE² que proporciona aos responsáveis pelo desenvolvimento de máquinas um controlo completo a partir de um único ambiente. Integra as funções de configuração, programação, simulação e monitorização. A comunicação entre o computador e o PLC é realizada através de *EtherNET*³, sendo que ambos necessitam de se encontrar na mesma rede.

3.2.2.1 Visão geral

Na figura seguinte (3.5) é possível verificar a estrutura geral do programa, dividida em quatro zonas.

¹*EtherCAT* é um protocolo de rede baseado em *EtherNET* capaz de cumprir os requisitos de comunicação em tempo real presentes na área de automação.

²Ambiente de Desenvolvimento Integrado, programa de computador que reúne características e ferramentas de apoio ao desenvolvimento de software.

³Ethernet é a tecnologia tradicional para conectar redes locais com fio (LANs), permitindo que dispositivos comuniquem entre si através de um protocolo (linguagem de rede comum).

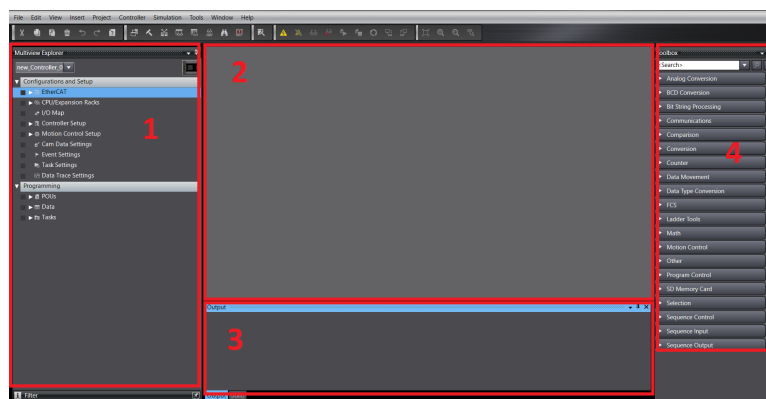


Figura 3.5: Sysmac Studio - Estrutura

Na zona 1 configuram-se os equipamentos e respetiva rede *EtherCAT*, encontram-se os "POUs" e secções, variáveis e prioridades de tarefas. Na zona 2 encontra-se o ambiente de trabalho que depende da opção selecionada na zona 1. A zona 3 mostra informação relativa à compilação do programa, erros e dados dos equipamentos. A zona 4 possui uma caixa de ferramentas que podem ser utilizadas na criação dos programas de controlo.

3.2.2.2 Configurações

Previamente ao desenvolvimento de algoritmos de controlo foi necessário proceder à configuração dos módulos (nós) na rede *EtherCAT*. Esta é realizada selecionando a opção "EtherCAT" na zona 1 e adicionando os equipamentos (modelos e versões) exatamente da mesma maneira que se encontram conectados fisicamente.

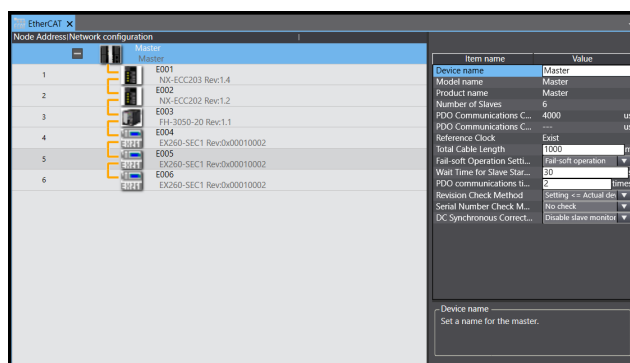


Figura 3.6: Sysmac Studio - Rede EtherCAT

Pela figura anterior é possível perceber que os componentes se encontram ligados em série da seguinte forma:

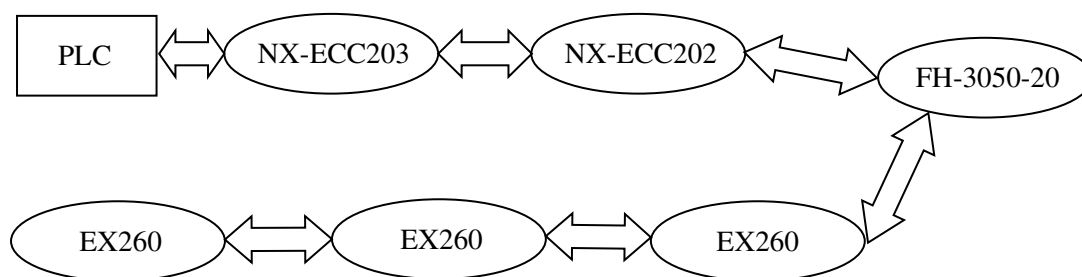


Figura 3.7: Nós e interligações na rede *EtherCAT*

Foram utilizadas duas cabeceiras (uma no quadro principal e uma no sistema, remota) para facilitar as ligações elétricas, dado que existiam componentes presentes tanto no quadro principal como no sistema em si. Nestas cabeceiras (NX-ECC203 e NX-ECC202) foi necessário ainda adicionar as cartas de E/S digitais pela ordem que foram inseridas. Neste caso colocaram-se duas cartas na primeira (NX-ID6142-5 e NX-OD6256-5 respetivamente) e cinco na segunda (quatro NX-ID6142-5 e uma NX-OD6256-5 respetivamente).

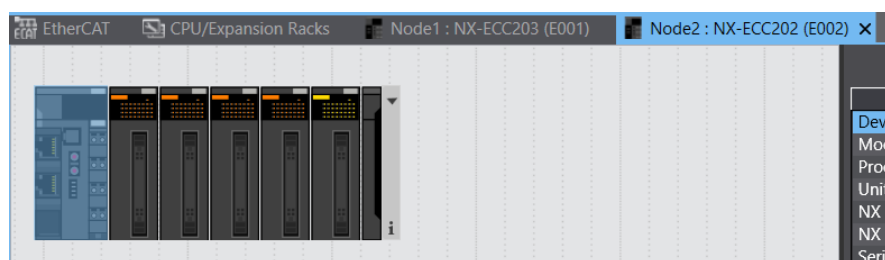


Figura 3.8: *Sysmac Studio* - Cabeceira NX-ECC202 e respetivas cartas

Após este procedimento, selecionando a opção "I/O Map" é possível mapear variáveis, isto é, associar as "ligações físicas" (atuadores e sensores) a endereços de memória do autómato e nomeá-las. Estas variáveis pertencem ao grupo das variáveis globais pois podem ser lidas/escritas em qualquer secção de programação. Também existem variáveis locais que pertencem e apenas podem ser lidas/escritas na secção correspondente.

Position		Port	Description	R/W	Data Type	Variable	Variable Comment	Variable Type	
Node4	▼	EX260-SEC1							
	▶	Byte 0_Output_3101_01		W	BYTE				
	▶	Byte 1_Output_3101_02		W	BYTE				
	▼	Byte 2_Output_3101_03		W	BYTE				
	Out Bit16	The digital output value of Out	W	BOOL	E_V1_09_A	Open gripper out	Global Variables		
	Out Bit17	The digital output value of Out	W	BOOL	E_V1_09_B	Close gripper out	Global Variables		
	Out Bit18	The digital output value of Out	W	BOOL	E_V1_10_A	Close gripper 2 (table zone)	Global Variables		
	Out Bit19	The digital output value of Out	W	BOOL	E_V1_10_B	Open gripper 2 (table zone)	Global Variables		
	Out Bit20	The digital output value of Out	W	BOOL	E_V1_11_A	Rotate gripper out to conveyor (pos1)	Global Variables		
	Out Bit21	The digital output value of Out	W	BOOL	E_V1_11_B	Rotate gripper out to table (pos 2)	Global Variables		
	Out Bit22	The digital output value of Out	W	BOOL	E_V1_12_A	Close entrance gripper	Global Variables		
	Out Bit23	The digital output value of Out	W	BOOL	E_V1_12_B	Open entrance gripper	Global Variables		
	▼	Byte 3_Output_3101_04		W	BYTE				
	Out Bit24	The digital output value of Out	W	BOOL	E_V1_13_A	Rotate table to position 1	Global Variables		
	Out Bit25	The digital output value of Out	W	BOOL	E_V1_13_B	Rotate table to position 2	Global Variables		
	Out Bit26	The digital output value of Out	W	BOOL					
	Out Bit27	The digital output value of Out	W	BOOL					
	Out Bit28	The digital output value of Out	W	BOOL					
	Out Bit29	The digital output value of Out	W	BOOL					
	Out Bit30	The digital output value of Out	W	BOOL					
	Out Bit31	The digital output value of Out	W	BOOL					
	Node5	▼	EX260-SEC1						
		▶	Byte 0_Output_3101_01		W	BYTE			
		Out Bit00	The digital output value of Out	W	BOOL	E_V2_01_A	Advance stopper (out zone)	Global Variables	
Out Bit01		The digital output value of Out	W	BOOL	E_V2_01_B	Retract stopper (out zone)	Global Variables		
Out Bit02		The digital output value of Out	W	BOOL	E_V2_02_A	Advance press (out zone)	Global Variables		
Out Bit03		The digital output value of Out	W	BOOL	E_V2_02_B	Retract press (out zone)	Global Variables		
Out Bit04		The digital output value of Out	W	BOOL	E_V2_03_A	Select bag 1 (out zone)	Global Variables		
Out Bit05		The digital output value of Out	W	BOOL	E_V2_03_B	Select bag 2 (out zone)	Global Variables		
Out Bit06		The digital output value of Out	W	BOOL					
Out Bit07		The digital output value of Out	W	BOOL					

Figura 3.9: Sysmac Studio - Mapeamento de variáveis

3.2.2.3 Linguagens e métodos

O Sysmac e consequentemente o autómato apenas pode ser programado utilizando a linguagem *Ladder* e *Structured Text*. Com a primeira é possível utilizar *Function Blocks* e *Functions*. Estes elementos podem ser genéricos (disponíveis na caixa de ferramentas) ou personalizados (criados especificamente para o programa em desenvolvimento).

O projeto foi desenvolvido tendo em conta certas regras adquiridas para programação de computadores industriais, algumas delas compreendidas no documento disponível em [47], que tendem a proporcionar consistência e estrutura aos programas desenvolvidos. Entre elas podem-se considerar como mais relevantes:

- Estrutura de programa seguindo uma "máquina de estado";
- Utilização de linguagens de programação alternativas a LD, como ST, apenas quando necessário;
- Posicionar os *rungs* de verificação de condições primeiro (verificando as condições e definindo as *flags*⁴), colocar as decisões de controlo no segmento seguinte, ativar e desativar as saídas na secção seguinte e monitorizar condições de desempenho no último. Criar portanto uma secção principal que utiliza secções secundárias que leem entradas, executam máquina de estados e escrevem saídas);
- Reservar a rotina principal para etapas de segurança críticas e de controlo (deverá ter o menor tamanho possível);
- Controlar as E/S apenas num local, permitindo uma verificação rápida;

⁴Mecanismo de programação lógico que funciona como semáforo: se a característica associada a essa flag estiver presente, esta encontra-se ativada.

- Os nomes de variáveis/secções devem ser curtos, as descrições detalhadas, e todos os *rungs* devem possuir uma descrição;
- Evitar o uso de *loops*⁵;
- Colocar condições que evitem a execução de uma divisão por zero (algo que o colocaria o PLC em erro e pararia a execução do programa);
- Utilizar esquemas de numeração do tipo 01-99 ou 001-999, por exemplo, caso contrário os monitores de *tag's*⁶ apresentá-las-ão fora de ordem.

3.2.3 Algoritmo desenvolvido

O algoritmo desenvolvido (programa do autómato) está disponível no anexo B. Certos casos específicos encontram-se explicados na subsecção 3.4.1, conforme a zona a que pertencem. O objetivo desta subsecção não é o de explicar o código/funcionamento na íntegra, mas sim o de apresentar a sua organização, características gerais e lógica.

Apenas existe um programa associado ao ciclo de execução do PLC, "CapsulatedCork". Este programa possui dezoito secções (tarefas), nomeadamente:

- | | |
|-----------------|--------------------|
| • "Main" | • "Main_IO" |
| • "Robot" | • "HMI_IO" |
| • "Entrance" | • "Robot_IO" |
| • "Table" | • "Entrance_IO" |
| • "Trays" | • "Table_IO" |
| • "Out" | • "Trays_IO" |
| • "Gripper1" | • "Out_IO" |
| • "Gripper2" | • "Inspections_IO" |
| • "Inspection1" | • "Receitas" |

As oito secções cujo nome termina em "IO" correspondem a programas de associação de variáveis internas, diretamente a entradas/saídas físicas do PLC. De uma forma genérica, são páginas em *Ladder* sem nenhuma tomada de decisão ou controlo, cujos *rungs* apenas possuem *inputs* e *outputs*. Foi adotada esta metodologia (uso de variáveis auxiliares) devido às vantagens que potencia durante o desenvolvimento e simulação dos programas de controlo. Para além disso, em

⁵Estrutura que permite repetir o mesmo conjunto de comandos, de acordo com uma determinada condição

⁶Nome para um local de memória (variável por exemplo).

fases de testes é bastante mais rápido verificar se existe algum componente físico (como um sensor) em mau funcionamento nestas secções. A figura seguinte (3.10) apresenta um excerto de uma destas secções em sincronismo com o PLC.

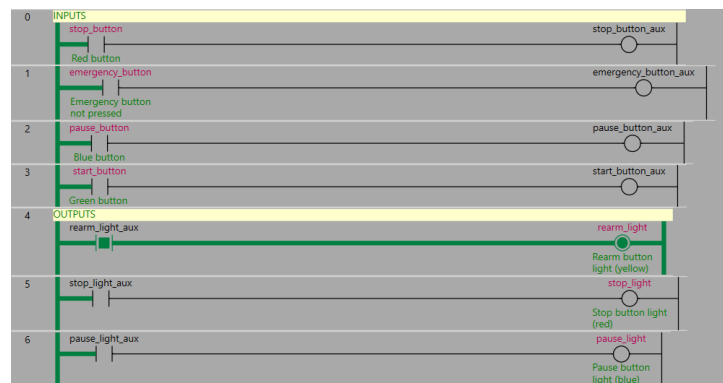


Figura 3.10: Sysmac Studio - Exemplo de uma secção "IO"(PLC em execução)

As restantes dez secções podem ser associadas à parte de controlo e tomada de decisões e são baseadas em máquinas de estados e diagramas de GRAFCET (figura 3.11).

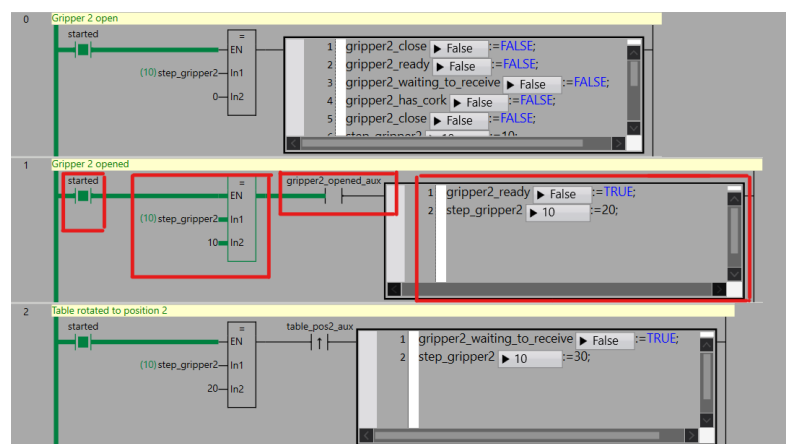


Figura 3.11: Sysmac Studio - Exemplo de uma secção de controlo (PLC em execução)

A secção "Main" controla o estado geral do sistema (modos explorados na secção 3.3) e realiza operações matemáticas relativas à produção. As secções "Robot", "Entrance", "Trays", "Out", "Table", "Gripper1" e "Gripper2" correspondem a módulos ou componentes de módulos explorados na subsecção 3.4.1. A secção "Inspection1" controla a inspeção (sistema de visão) na entrada de rolas de cortiça. A secção "Receitas" ativa/desativa receitas conforme a seleção efetuada na consola.

As variáveis auxiliares possuem geralmente o mesmo nome do que as que se encontram a clonar, apenas com "_aux" no fim.

3.3 Modos de funcionamento

Definiu-se que o sistema deveria integrar quatro estados de funcionamento normal:

- Produção/funcionamento - o sistema entra neste estado quando ocorre um arranque, no qual se encontra a produzir por tempo indefinido
- Pausa - ao entrar neste estado o sistema pausa quando puder todos os seu módulos, ficando estático e podendo ser retomado
- Finalizando produção - neste estado o sistema acabará de produzir em breve, não permitindo a admissão de novos tabuleiros de cápsulas
- Paragem - neste estado o sistema encontra-se parado, sendo possível a seleção de receitas e posteriormente o arranque

A seleção de estados realiza-se através de três botões luminosos: verde para arrancar, azul para pausa e vermelho para finalizar produção (pressionar durante três segundos) ou paragem (pressionar de forma breve).

Um quarto botão de cor amarela tem a função de rearme, isto é, ativação do sistema no caso de se encontrar em emergência.

O estado de emergência é um caso especial que é automaticamente ativado quando algum dos botões de emergência é pressionado ou o controlador do manipulador deixa de comunicar.



Figura 3.12: Botões de controlo do estado do sistema

3.4 Layout e sequências operativas

Nesta secção apresenta-se o raciocínio utilizado no desenvolvimento do sistema e justifica-se o uso de certos componentes.

Teoricamente, considerou-se que o sistema deveria realizar, de uma forma genérica e automática, as seguintes funções:

1. Introdução de rolhas de cortiça de forma ordeira
2. Admissão de tabuleiros de cápsulas
3. Montagem de cápsulas com rolhas
4. Embalamento em sacos

Estas funções foram organizadas numa sequência de funcionamento no diagrama em GRAFCET seguinte (figura 3.13).

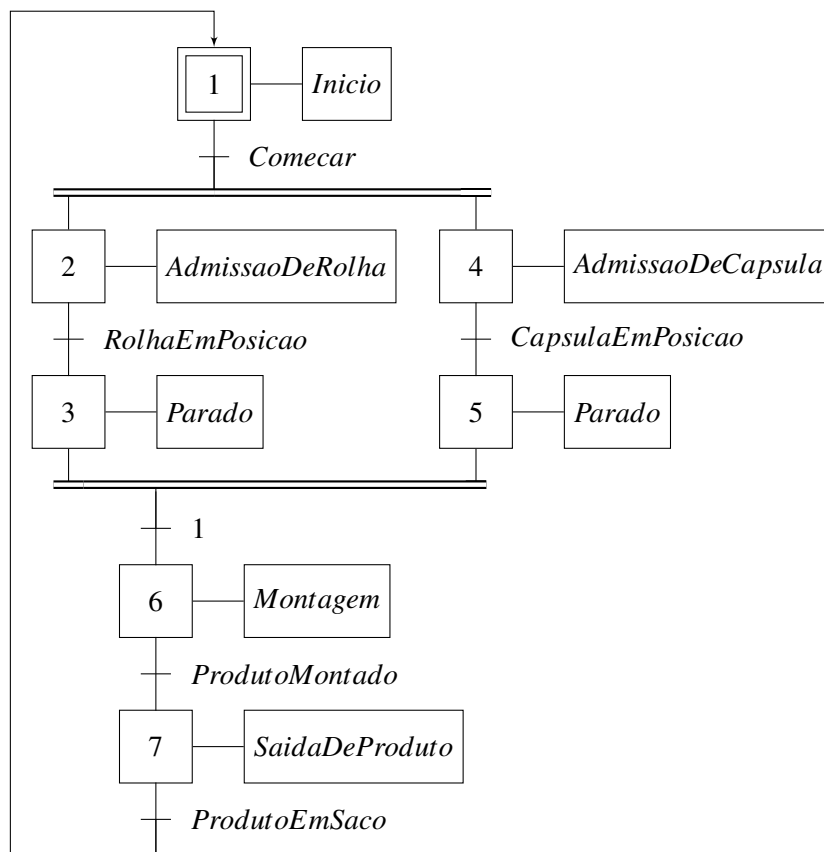


Figura 3.13: Diagrama GRAFCET principal

De seguida apresenta-se o desenho do sistema desenvolvido, já com zonas (módulos) delineadas que correspondem às tarefas previamente consideradas.

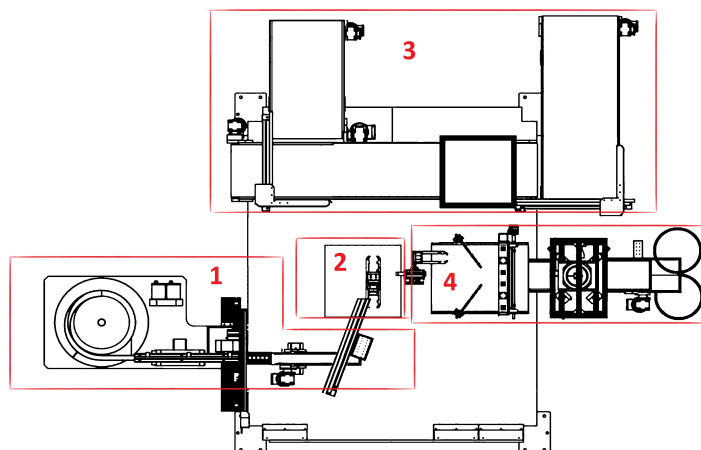


Figura 3.14: Planificação do sistema

- Zona um - introdução de rolhas
- Zona dois - montagem
- Zona três - admissão de tabuleiros de cápsulas
- Zona quatro - saída de produto e embalagem em sacos

3.4.1 Módulos

Nesta subsecção exploram-se individualmente as zonas referidas anteriormente, bem como o robô (e respetiva pinça), algo que foi considerado como um módulo à parte.

3.4.1.1 Módulo de entrada de rolhas de cortiça

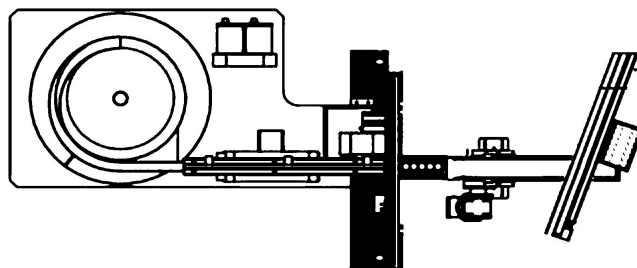


Figura 3.15: Zona de entrada de rolhas

Com o funcionamento e zona do módulo de montagem definidos, projetou-se o método para a colocação de rolhas de cortiça individualmente na primeira estação da mesa rotativa. Determinou-se que a utilização de um vibrador de orientação e ordenação de peças em fila com sistema de

sopro (como o referenciado no exemplo em 2.4.2), em conjunto com um tapete transportador e uma pinça pneumática seria a opção mais eficiente, tendo em conta as restrições e requisitos do projeto.

O sistema vibratório é composto por uma panela e uma reta vibratória. Este conjunto orienta as rolhas na vertical e com o chanfro⁷ na parte inferior através de sopros de ar e organiza-as em fila. O tapete transportador (comumente designado "tapete um") foi regulado com uma velocidade específica por forma a espaçar as rolhas sem as tombar. Deste tapete, as rolhas são transferidas para a primeira estação da mesa rotativa através de um conjunto denominado "pórtico", que possui uma pinça pneumática associada a dois servo-motores de deslocamento linear: um horizontal e um vertical.

A evolução deste módulo pode ser verificada na secção A.1 do anexo A.

Equipamentos

Vibrador Este sistema é da marca TAD e possui um controlador (REOVIB MTS442) de fase de dois canais (um para a panela e um para a reta). Este controlador é programável e controla as interações dos dois canais internamente.



Figura 3.16: Sistema vibrador

Tapete Este componente utiliza um motor trifásico associado a um variador de frequência OMRON MX-2. O variador de frequência é configurável e controla a velocidade. Para além disso estabelece a ligação entre o autómato e o tapete (sinal de ordem de atuação proveniente do autómato liga ao variador). Montados no tapete encontram-se dois sensores óticos difusos de proximidade que detetam a presença de rolhas.

⁷borda da rolha que possui um corte na diagonal



Figura 3.17: Tapete de entrada de rolhas

Pinça Este componente pode ser dividido em duas partes: o atuador pneumático e os "dedos" (peças que contactam com as rolhas e possuem uma forma complementar). O encaixe foi feito à medida por forma a agarrar e fixar os componentes da melhor maneira. Para além disso utilizam-se dois sensores magnéticos que verificam se a pinça se encontra aberta ou fechada.



Figura 3.18: Pinça de entrada de rolhas

Servo-motores do pórtico Utilizam-se controladores para regular a velocidade e a posição dos servo-motores do pórtico. Estes parâmetros configuraram-se utilizando o programa *ACT Controller*. Na figura 3.19 é possível verificar os sinais utilizados para controlo e verificação do estado destes componentes. Cada linha da tabela representa uma posição e velocidade de atuação. O autómato envia o número da linha (em código binário) que possui a posição desejada, após o qual ordena a movimentação.

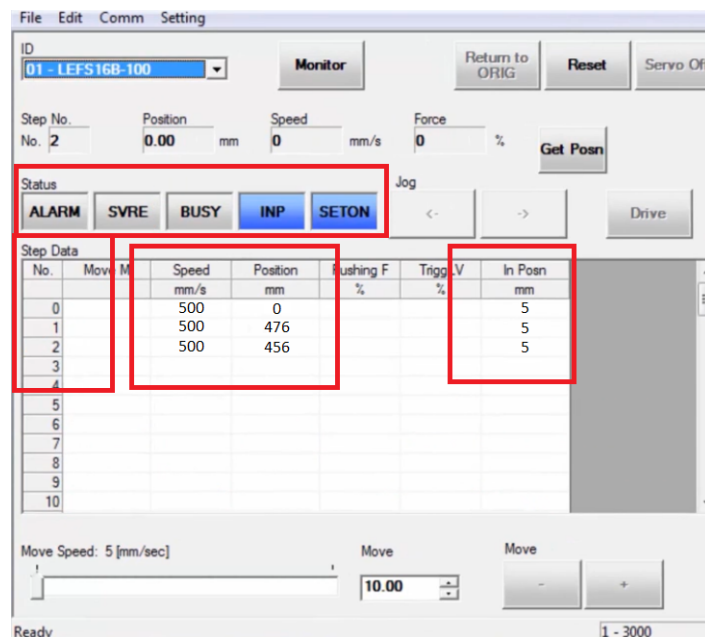


Figura 3.19: ACT Controller - Configuração do servo-motor horizontal para atuação direta através do PLC

Os motores deslizam sobre plataformas (estruturas do pórtico, figura 3.20) conforme a sua atuação e portanto são neste documento comumente designados por *slides* (horizontal e vertical) do pórtico de entrada.



Figura 3.20: Pórtico de entrada

Funcionamento Este conjunto programou-se utilizando como base os diagramas seguintes (figuras 3.21 e 3.22).

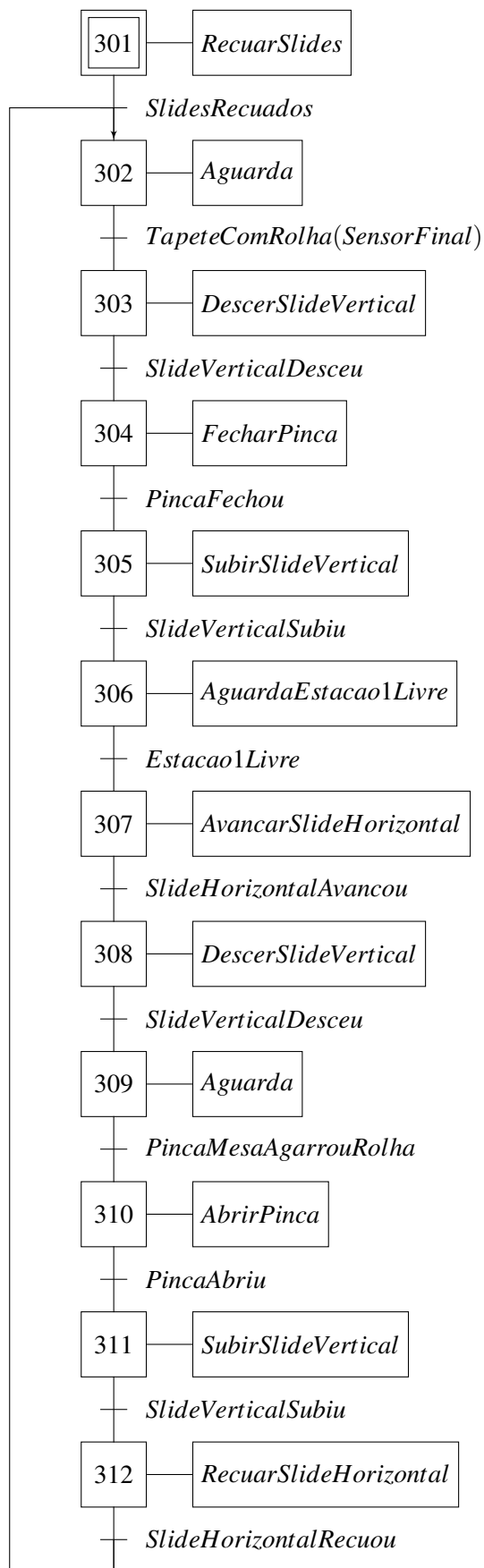


Figura 3.21: Diagrama GRAFCET do "pórtico"

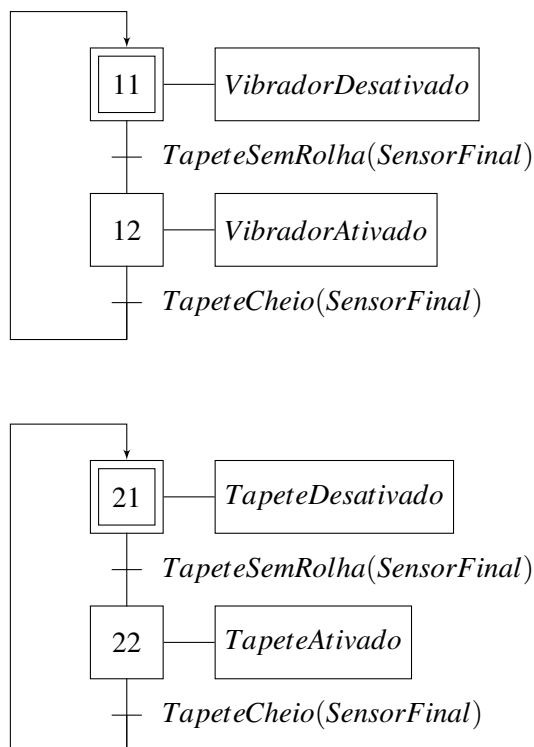


Figura 3.22: Diagramas GRAFCET do sistema vibratório e tapete nº1

Implementação Após a realização de alguns testes e verificação do comportamento dos equipamentos em funcionamento, foram realizados certos aperfeiçoamentos no controlo deste módulo do sistema que melhoraram bastante a capacidade produtiva. Ao invés do "pórtico de entrada" possuir apenas duas posições, como a figura 3.21 sugere, adicionou-se uma terceira posição mais próxima da zona de montagem. Assim este módulo consegue poupar bastante tempo relacionado com a movimentação do "slide horizontal".

Para além disso, controlo desta zona teve em conta certos casos que poderiam causar problemas no processo produtivo, nomeadamente:

1. a pinça do pórtico não agarrar a rolha de cortiça;
2. o sensor que informa que a pinça do pórtico se encontra fechada não ativar pelo facto da rolha ser demasiado larga.

O primeiro ponto resolveu-se verificando se o sensor de deteção de rolha (tapete cheio) se encontra ativado. Se isto acontecer significa que o pórtico não conseguiu segurar a rolha (pode-se encontrar deitada no tapete) e portanto é ativado o tapete, passando-se à próxima peça.

Se a rolha for demasiado larga, impedindo a ativação do sensor "fechado" da pinça, o autómato verificará se o sensor "aberto" se encontra ativado. Caso nenhum deles se encontre ativado, supõe-se que a pinça se encontra a agarrar uma peça, visto que ficou numa posição intermédia, continuando o processo normalmente.

O código desenvolvido para este módulo encontra-se disponível no anexo B, na secção "Entrance".

3.4.1.2 Módulo de entrada de cápsulas

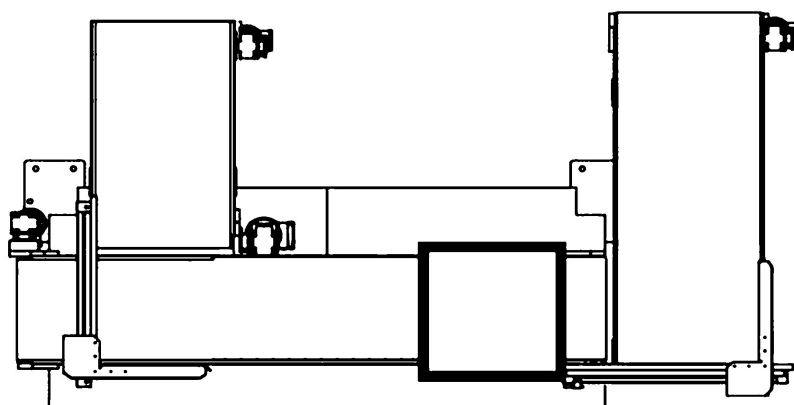


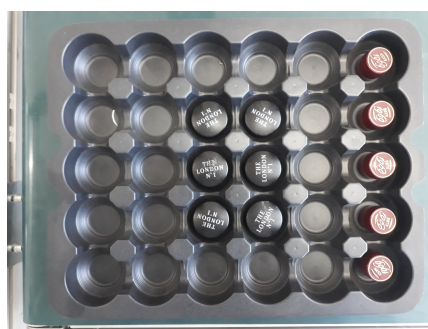
Figura 3.23: Zona de entrada de cápsulas

Neste módulo os tabuleiros de cápsulas (figura 3.24) deverão:

1. ser colocados manualmente pelo operador e entrar no sistema de forma automática;
2. passar por um sistema de visão de identificação e localização das cápsulas;
3. ser posicionados na zona do manipulador e aguardar que fiquem vazios;
4. ser transportados até à zona de saída.



(a) Exemplo de tabuleiro (cápsulas tipo um)



(b) Exemplo de tabuleiro (cápsulas tipo dois e três)

Figura 3.24: Tabuleiros de cápsulas utilizados

Para a movimentação dos tabuleiros de cápsulas utilizam-se tapetes transportadores e módulos de transferência pneumáticos.

Equipamentos

Tapetes Os tapetes (comummente designados, por ordem de entrada dos tabuleiros, "tapete dois", "tapete três" e "tapete quatro") utilizam motores de indução trifásicos da marca SEW controlados por variadores de frequência OMRON MX-2. A sua velocidade é configurada no variador. O controlo é feito pelo autómato, que envia um sinal de entrada do variador, que por sua vez ativa o motor (de forma análoga ao tapete um). Os tapetes são apresentados nas figuras 3.25, 3.26 e 3.27.

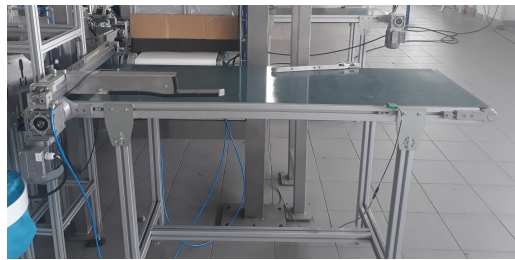


Figura 3.25: Entrada de cápsulas - Tapete dois



Figura 3.26: Entrada de cápsulas - Tapete três



Figura 3.27: Entrada de cápsulas - Tapete quatro

Módulos de transferência Desenvolveram-se dois módulos de transferência que têm a função de, como o nome indica, transferir tabuleiros de um tapete para o outro. A sua existência, em conjunto com dois tapetes, possibilita o armazenamento (espécie de *buffer*) de tabuleiros no sistema. Estes são compostos por abas personalizadas inseridas em atuadores pneumáticos lineares (figuras 3.28 e 3.29). Os tabuleiros são detetados através de sensores óticos de proximidade difusos.



Figura 3.28: Entrada de cápsulas - Módulo de transferência nº1



Figura 3.29: Entrada de cápsulas - Módulo de transferência nº2

Funcionamento A sequência de trabalho desta zona pode ser verificada nos diagramas seguintes (3.30).

Implementação O controlo desta zona foi bastante intuitivo: realizar a entrada, paragem e saída de tabuleiros. De realçar o desenvolvimento da zona de armazenamento de tabuleiros (que aumenta a velocidade do processo produtivo) e da zona de saída, que irá bloquear o processo caso os tapetes se encontrem cheios.

O código desenvolvido para este módulo encontra-se disponível no anexo B, na secção "Trays".

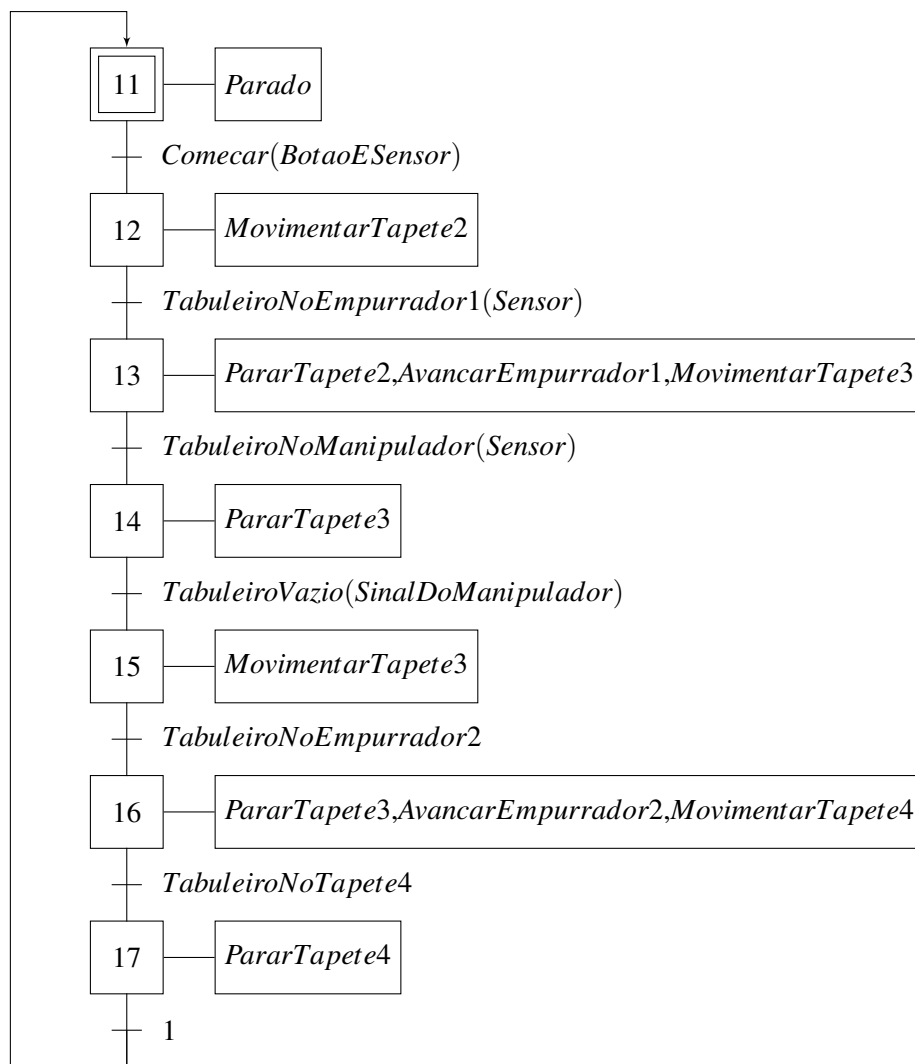


Figura 3.30: Diagrama GRAFCET da entrada de tabuleiros

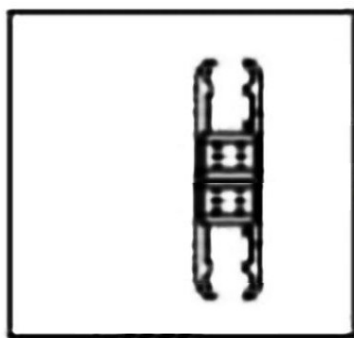
3.4.1.3 Módulo de montagem

A função mais relevante e que mais influenciou o *layout* foi a de montagem do produto (cápsula com rolha). A localização e modo de funcionamento deste módulo influencia e cria dependência a todos os outros (maioritariamente pela definição das posições das estações de trabalho), pelo que foi o primeiro a ser desenvolvido.

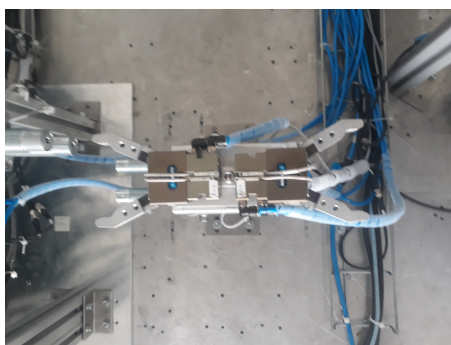
Através de testes efetuados manualmente verificou-se que este processo necessitaria de elevada precisão e robustez. Como uma das restrições do sistema (3.1.3) se prende com a manipulação de cápsulas utilizando um robô, definiu-se que este equipamento deveria colocar as cápsulas diretamente nas rolhas, individualmente (uma a uma). Para isso acontecer as rolhas necessitam de ser posicionadas e fixadas através de algum mecanismo. Foram exploradas soluções como tapetes transportadores com engrenagens de fixação de posições e atuadores pneumáticos de fixação, tanto

individualmente como em tapetes transportadores. Compreendeu-se que seria possível a fixação da rolha de cortiça de maneira eficiente utilizando pinças de atuação pneumática associadas a uma **mesa rotativa** (semelhante ao sistema explorado em 2.4.2).

Nesta altura foi necessário decidir quantas "estações de trabalho" deveriam existir. De modo a executar várias tarefas em paralelo, neste elemento deveriam existir cinco etapas: entrada de rolha, injeção de cola, colocação de cápsula (por parte do robô), prensagem do conjunto, saída do produto final. Como neste caso a mesa só rodaria num sentido, seria necessário a aquisição de componentes específicos de preço elevado por forma a não ocorrer o enrolamento dos tubos pneumáticos das pinças que se encontrariam a fixar as rolhas. Por forma a diminuir a complexidade e o custo de desenvolvimento do projeto, optou-se pela agregação das tarefas em duas estações e rotação da mesa de forma alternada (eliminando o problema do enrolamento dos tubos de ar e fios elétricos).



(a) Zona de montagem - modelo em desenho



(b) Zona de montagem - modelo real

Definiu-se então que:

- Na primeira estação realizar-se-ia a **receção e indexação (posicionamento) da rolha de cortiça** e a **injeção de cola**
- Na segunda estação realizar-se-ia a **colocação da cápsula e entrega do produto**

Determinou-se que a prensagem do produto seria benéfica se realizada numa fase posterior, dado que a força necessária para a sua realização poderia facilmente danificar as pinças. Para além disso também tem a vantagem de diminuir o tempo de trabalho na estação respetiva. Não foi possível a utilização de uma máquina de injeção de cola pelo que esta tarefa foi apenas simulada.

No anexo A é possível verificar a evolução do módulo, na secção A.2.

Equipamentos

Atuador de rotação da mesa A rotação da mesa realiza-se através de um atuador pneumático semi-giratório de duplo pistão com intervalo de 180° da marca FESTO. Para além disso instalaram-se dois sensores magnéticos que fornecem informação acerca da posição na qual se encontra o eixo.

Pinças pneumáticas São utilizadas pinças da marca SHUNK. Estas foram montadas no veio do atuador pneumático rotativo e as posições foram calibradas por forma a que a posição seja a mesma (fixa) com ambas as estações.

Funcionamento Os diagramas seguintes (3.32, 3.33) ilustram de uma maneira simplificada o funcionamento do módulo.

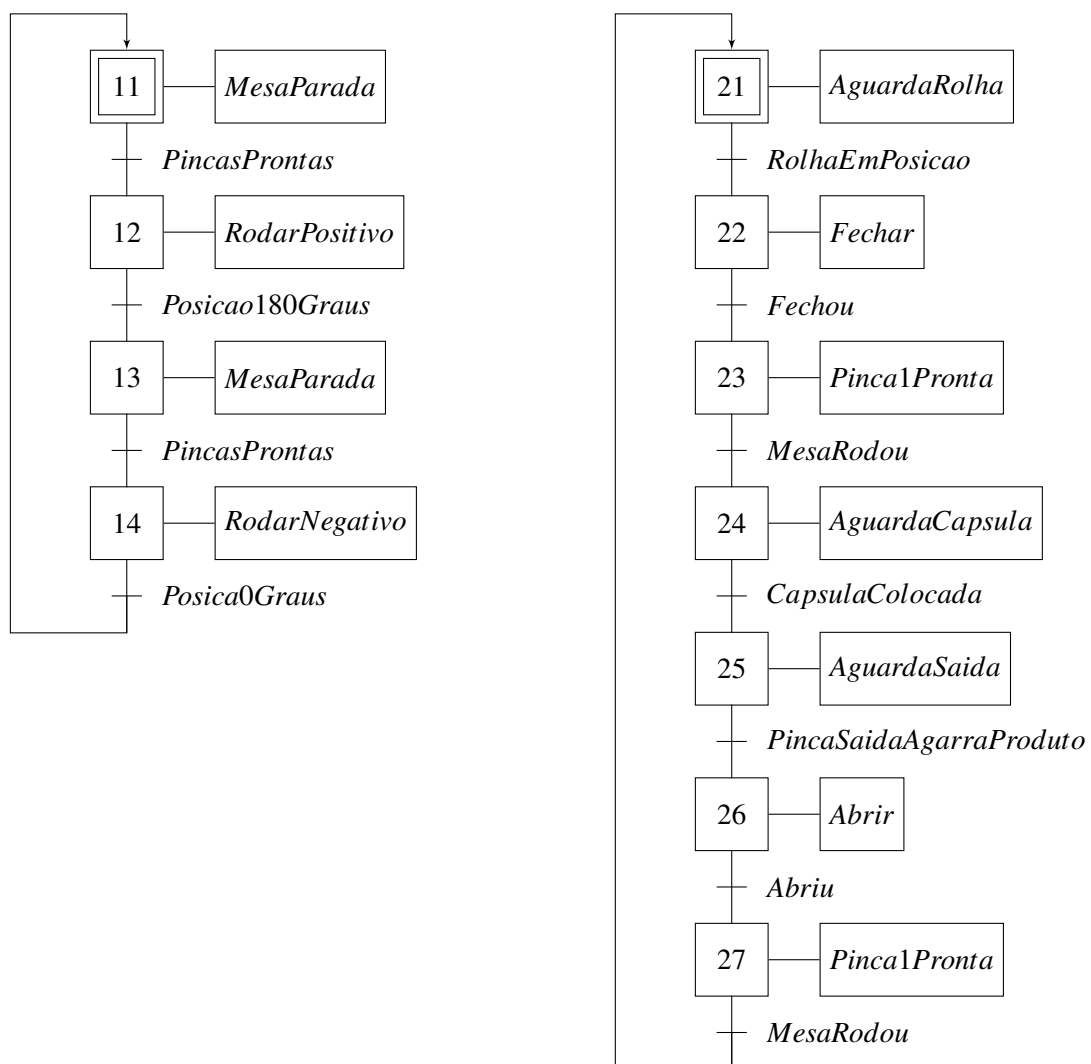


Figura 3.32: Diagrama GRAFCET de funcionamento da mesa e pinça nº1

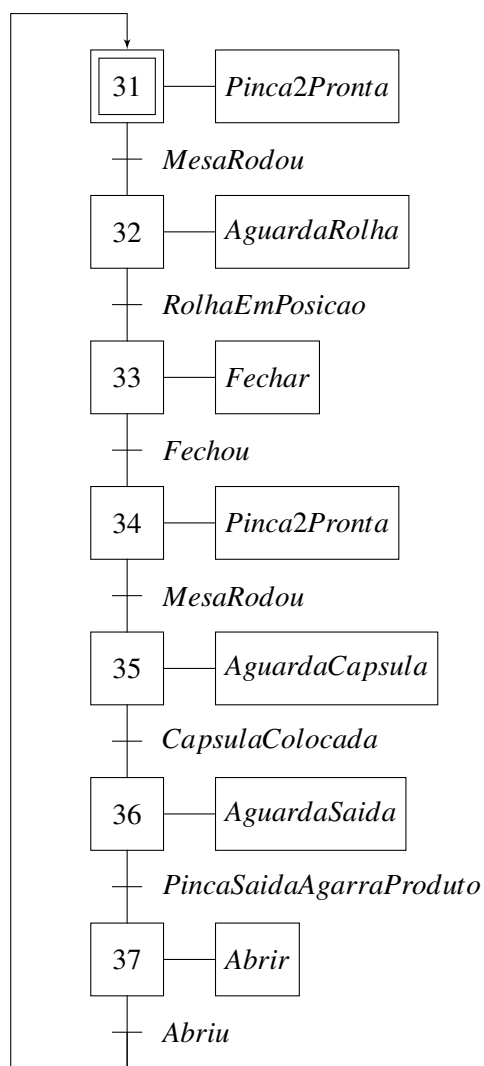


Figura 3.33: Diagrama GRAFCET de funcionamento da pinça nº2

Implementação Esta zona, por ser a central e da qual dependem quase todos os outros módulos, foi cuidadosamente estudada e programada, visto que é a que dá autorização a componentes para entrarem nas estações.

Foram utilizadas variáveis internas que alternam o seu valor conforme os componentes que se encontram nas estações. Estas variáveis são verificadas pelos outros componentes, quando é despoletada a autorização.

O código desenvolvido para este módulo encontra-se disponível no anexo B, nas secções "Table", "Gripper1" e "Gripper2".

3.4.1.4 Manipulador

O robô de manipulação de cápsulas utilizado é um OMRON Hornet 565 de 4 eixos (figura 3.34). Aliado a este equipamento encontra-se um sistema de visão (figura 3.36) e um *encoder* de velocidade/posição do tapete nº3. As cápsulas são agarradas através de uma pinça ZIMMER de atuação pneumática colocada na extremidade do manipulador (figura 3.35).



Figura 3.34: Manipulador (Hornet 565)

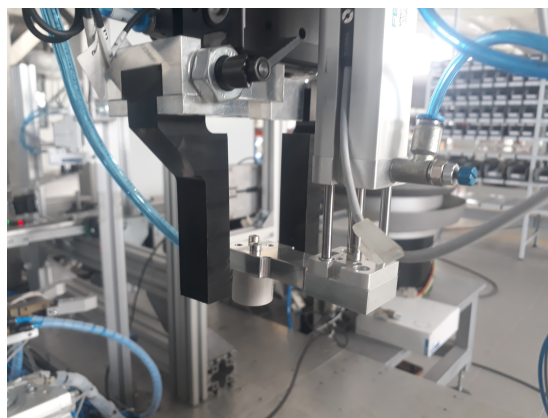


Figura 3.35: Pinça pneumática ZIMMER



Figura 3.36: Sistema de visão

Funcionamento A programação deste robô e respetivo sistema de visão foi realizada no âmbito de outra dissertação. Desta forma, definiu-se previamente o seu modo de funcionamento e de interação, ou seja: estados, comunicação e sinais que seriam trocados entre este equipamento e o autómato. Assim, para além de simplificar e separar as tarefas, foi possível realizar simulações (com sinais) sem haver perigo de colisões. O diagrama seguinte (figura 3.37) demonstra de uma forma genérica o modo de funcionamento.

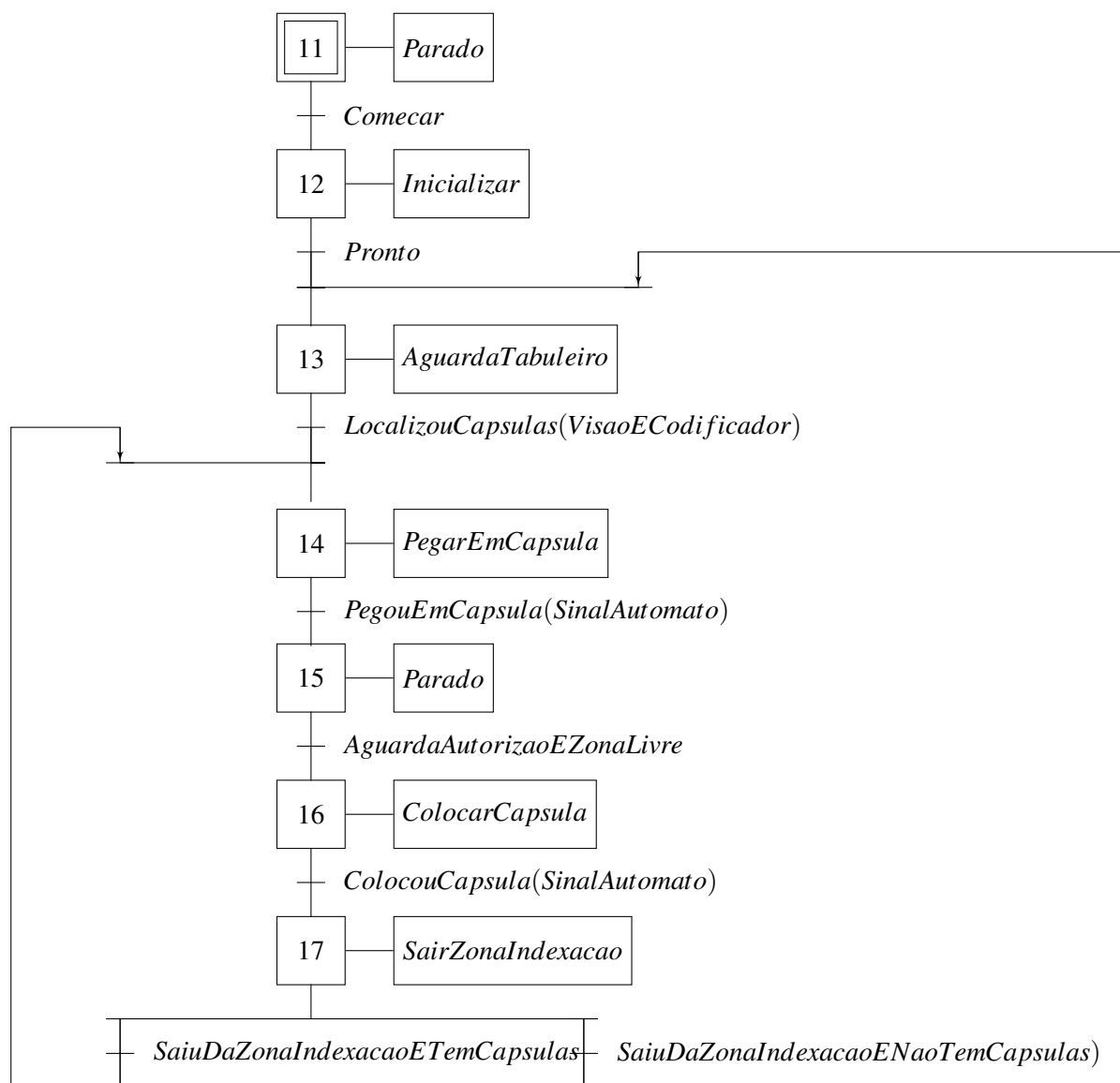


Figura 3.37: Diagrama GRAFCET de funcionamento do manipulador

Comunicação e sinais A comunicação entre o robô e o autómato é realizada por Ether-NET/IP utilizando ePLC, uma função destes manipuladores que permite a partilha de registos

(sinais) diretamente com o PLC mantendo os tempos de ciclo de controle exigidos. Basicamente cria-se uma estrutura contendo os registros do robô na memória do autômato que é atualizada a cada ciclo de processamento.

A partir do GRAFCET anterior desenvolveu-se uma sequência que explora a troca de sinais num modo de funcionamento normal:

1. Utilizador rearma o sistema
2. PLC envia sinal de inicialização
3. Robô envia sinal de inicializado e pronto
4. Utilizador arranca o sistema
5. PLC envia sinal de arranque
6. Robô vai para posição de espera, após a qual irá para a localização da cápsula
7. Robô envia sinal para fechar pinça
8. PLC envia sinal de cápsula agarrada
9. Robô vai para posição intermédia
10. PLC envia sinal de autorização de capsulamento
11. Robô coloca a cápsula na rolha
12. Robô envia sinal ao PLC para abrir a pinça
13. PLC envia sinal de pinça aberta
14. Robô sai da zona partilhada
15. Robô envia sinal de todas as cápsulas colocadas/tabuleiro vazio (eventualmente)

Para além disso foram desenvolvidos dois modos adicionais: um de **pausa** e um de **paragem**. As respetivas sequências de interligação são descritas de seguida.

Modo de pausa:	Modo de paragem:
1. PLC envia sinal de pausa	1. PLC envia sinal de paragem
2. Robô envia sinal de parado	2. Robô envia sinal de parado
3. PLC envia sinal para retomar o funcionamento normal	3. PLC envia sinal para reiniciar o processo
4. Robô envia sinal para PLC de processo retomado	4. Robô envia sinal para PLC de processo reiniciado

Utilizando as sequências desenvolvidas construiu-se a seguinte tabela que contém as variáveis utilizadas e seus mapeamentos (robô e PLC). A partir dos nomes em inglês é possível deduzir quando cada uma delas é utilizada.

	Ordem	Utilizador	PLC	Robô	ePLC (PLC)	ePLC (Robot)
Inicialização	1	Rearma (botão)	signal 1 (init_robot)	->	ePLC.toRobot.SignalVars[1]	1641
	2			<- signal 1 (robot_ready)	ePLC.fromRobot.SignalVars[1]	641
	3			<- Not signal 2 (is_working)	ePLC.fromRobot.SignalVars[2]	-642
	4			<- Not signal 3 (is_paused)	ePLC.fromRobot.SignalVars[3]	-643
	5			<- Not signal 4 (is_stopped)	ePLC.fromRobot.SignalVars[4]	-644
	fh			<- signal 5 (robot_in_safe)	ePLC.fromRobot.SignalVars[5]	645
	Ordem	Utilizador	PLC	Robô	ePLC (PLC)	ePLC (Robot)
Arranque	1	Arranca (botão)	signal 2 (start_robot)	->	ePLC.toRobot.SignalVars[2]	1642
	2			<- signal 2 (is_running)	ePLC.fromRobot.SignalVars[2]	642
	3			<- Not signal 3 (is_paused)	ePLC.fromRobot.SignalVars[3]	-643
	4			<- Not signal 4 (is_stopped)	ePLC.fromRobot.SignalVars[4]	-644
	5			<- signal 7 (gripper_pick_capsule)	ePLC.fromRobot.SignalVars[7]	647
	6		signal 7 (gripper_picked)	->	ePLC.toRobot.SignalVars[7]	1647
	7		signal 8 (cork_waiting_for_robot)	->	ePLC.toRobot.SignalVars[8]	1648
	8			<- signal 9 (gripper_place_capsule)	ePLC.fromRobot.SignalVars[9]	649
	9		signal 9 (gripper_placed)	->	ePLC.toRobot.SignalVars[9]	1649
	10			<- signal 10 (robot_out_of_table)	ePLC.fromRobot.SignalVars[10]	650
	Ordem	Utilizador	PLC	Robô	ePLC (PLC)	ePLC (Robot)
Pausa	1	Pausa (botão)	signal 3 (pause_robot)	->	ePLC.toRobot.SignalVars[3]	1643
	2			<- Not signal 2 (is_working)	ePLC.fromRobot.SignalVars[2]	-642
	3			<- signal 3 (is_paused)	ePLC.fromRobot.SignalVars[3]	643
	4			<- Not signal 4 (is_stopped)	ePLC.fromRobot.SignalVars[4]	-644
	Ordem	Utilizador	PLC	Robô	ePLC (PLC)	ePLC (Robot)
Parar	1	Pára (botão)	signal 4 (stop_robot)	->	ePLC.toRobot.SignalVars[4]	1644
	2			<- signal 4 (is_stopped)	ePLC.fromRobot.SignalVars[4]	644
	3			<- Not signal 3 (is_paused)	ePLC.fromRobot.SignalVars[3]	-643
	4			<- Not signal 2 (is_working)	ePLC.fromRobot.SignalVars[2]	-642
	Ordem	Utilizador	PLC	Robô	ePLC (PLC)	ePLC (Robot)
Independentes ou erros	1		signal 5 (robot_to_safe)	->	ePLC.toRobot.SignalVars[5]	1645
	2			<- signal 5 (robot_in_safe)	ePLC.fromRobot.SignalVars[5]	645
	3			<- signal 6 (tray_is_empty)	ePLC.fromRobot.SignalVars[6]	646
	4		signal 11 (pick_seq_1_gold)	->	ePLC.toRobot.SignalVars[11]	1651
	5		signal 12 (pick_seq_2_london)	->	ePLC.toRobot.SignalVars[12]	1652
	6		signal 13 (pick_seq_3_1969)	->	ePLC.toRobot.SignalVars[13]	1653

Tabela 3.1: Sinais partilhados entre robô e autómato

Implementação Este módulo controlou-se ativando/desativando os sinais apresentados anteriormente. De realçar a sequência de comandos necessários para atuação da pinça (agarrar uma cápsula): baixar cilindro, ativar vácuo, subir cilindro, fechar "dedos" e desativar vácuo. O tempo entre a etapa de ativação de vácuo e subida do cilindro foi aperfeiçoado através de testes realizados em várias cápsulas.

O código desenvolvido para este módulo encontra-se disponível no anexo B, na secção "Robot". Já os sinais de comunicação não são utilizados numa secção específica, mas sim em múltiplas secções ("Gripper1", "Gripper2" e "Out").

3.4.1.5 Módulo de saída

As figuras seguintes (3.38 e 3.39) apresentam o desenho e o aspeto real, respetivamente, da zona de saída de rolhas capsuladas.

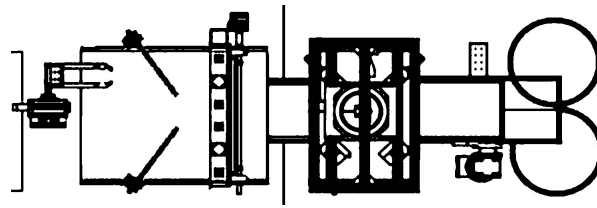


Figura 3.38: Zona de saída de produto e embalagem - desenho

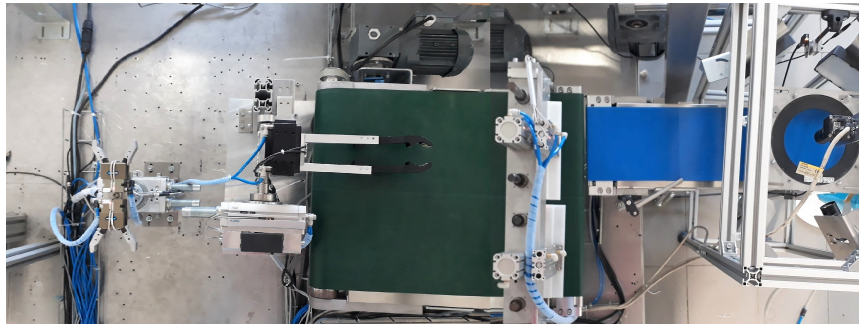


Figura 3.39: Zona de saída de produto

Neste módulo realizam-se as seguintes funções:

- Remoção do produto da zona de montagem - figura 3.40
- Prensagem do produto - figura 3.41
- Inspeção e eventual rejeição de produto (caso possua defeito) - figura 3.41
- Embalamento em sacos

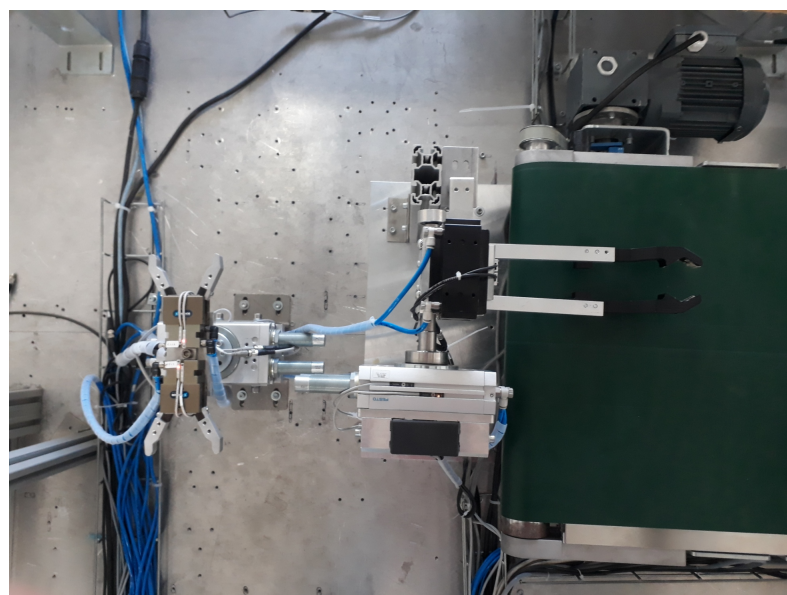


Figura 3.40: Pinça de remoção de produto da zona de montagem e tapete nº5

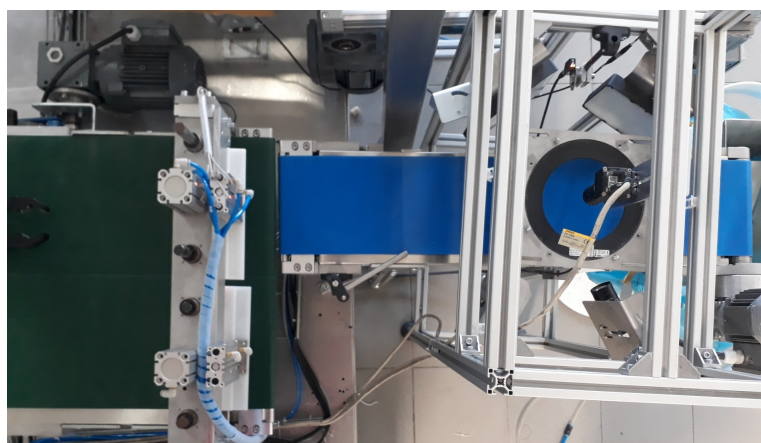


Figura 3.41: Prensa inspeção e saída de produto

A evolução deste módulo pode ser verificada na secção [A.3](#) do anexo [A](#).

Equipamentos

Tapetes A movimentação dos produtos desde a zona de montagem até ao embalamento é realizada utilizando dois tapetes de funcionamento semelhante aos referidos anteriormente. O primeiro agrupa as tarefas de receção de produtos e prensagem e o segundo a de inspeção (sistema de visão) e embalamento.

Pinça pneumática rotativa Este componente é utilizado para remover a rolha capsulada da estação de trabalho dois do módulo de montagem. Integra na sua estrutura um atuador pneumático semi-rotativo (180°) e uma pinça (com os "dedos" extendidos) pneumática com respetivos sensores magnéticos de verificação de atuação. Após o capsulamento por parte do manipulador e a consequente saída da zona de montagem, esta pinça deverá rodar até à estação, agarrar o produto, levá-lo para o primeiro tapete de saída e largar o produto.

Prensa A prensagem do produto é realizada neste equipamento, que se encontra posicionado no primeiro tapete de saída. Este possui dois atuadores pneumáticos lineares, um para o mecanismo de prensagem e um utilizado para posicionar o produto.

Selecionador de saco Este componente tem como objetivo encaminhar o produto para o saco de rejeições (informação dada pelo sistema de visão/inspeção) ou para o saco de aprovados. Possui um atuador pneumático rotativo, cuja atuação seleciona um dos dois sacos.

Funcionamento O controlo deste módulo necessitou de ter em conta principalmente duas condições: a posição do robô e o estado da estação dois da zona de montagem (a ordem errada poderia dar origem a uma colisão e danificação de componentes). A partir daí a sequência de funcionamento é bastante intuitiva e pode ser descrita pelos diagramas seguintes ([3.42](#), [3.43](#) e [3.44](#)).

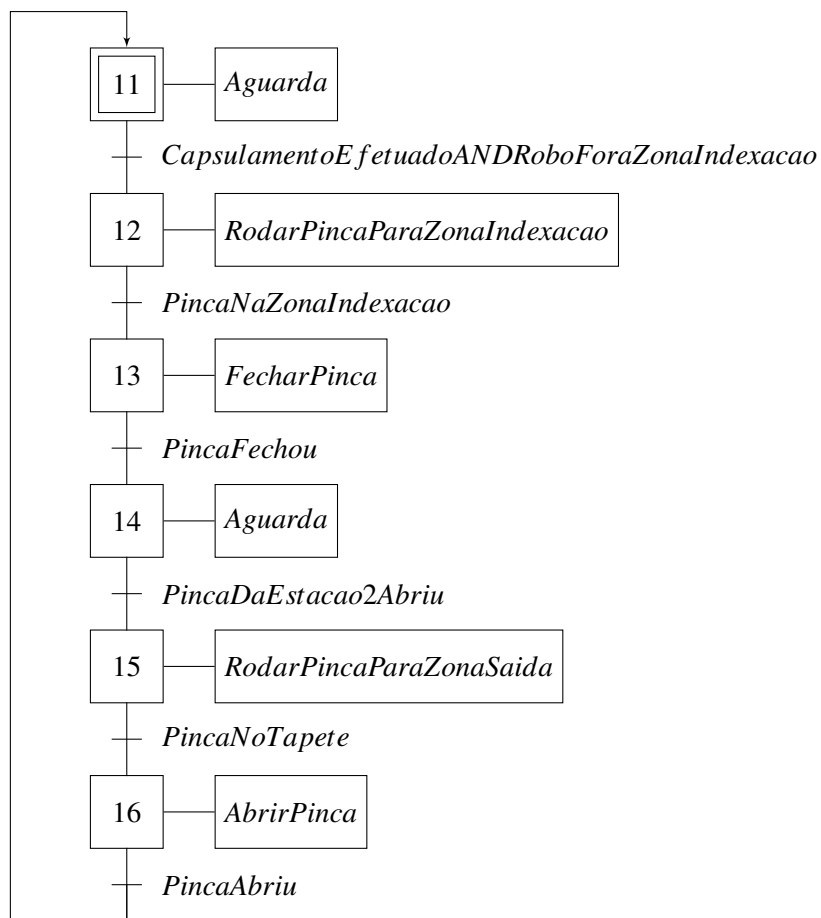


Figura 3.42: Diagrama GRAFCET de funcionamento da pinça de saída de produto

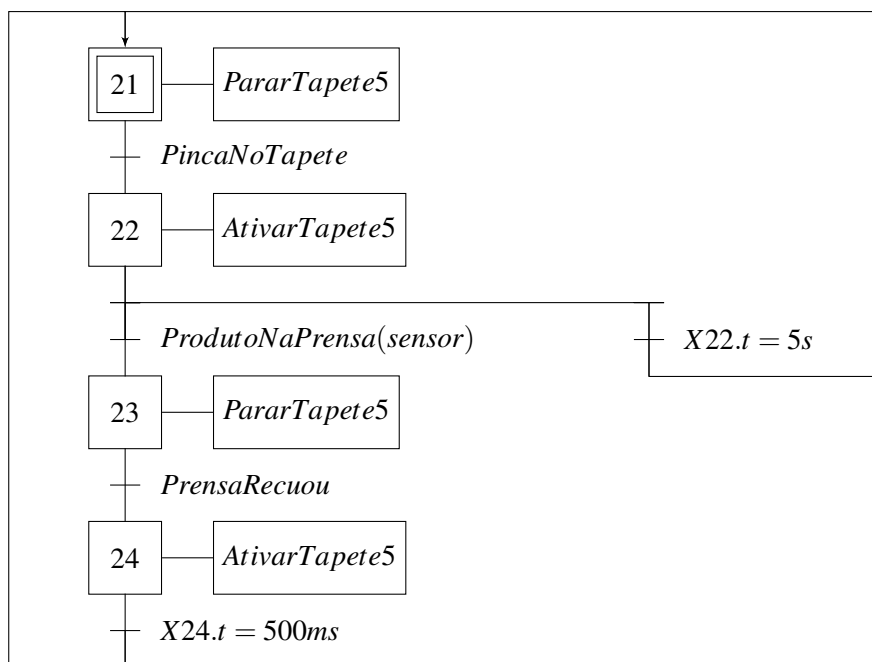


Figura 3.43: Diagrama GRAFCET de funcionamento do tapete nº5

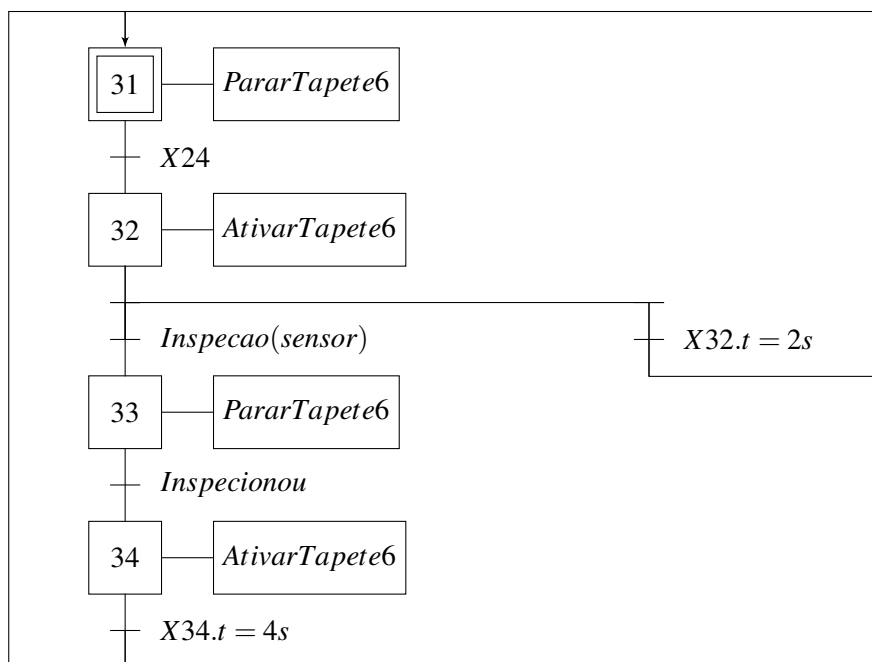


Figura 3.44: Diagrama GRAFCET de funcionamento do tapete nº6 e inspeção final

Implementação Esta zona programou-se tendo em conta certas situações ocasionais que poderiam causar problemas no processo produtivo, nomeadamente:

1. a pinça de remoção de produto não possuir produto quando chega ao tapete;
2. o sensor que informa que a pinça de remoção de produto se encontra fechada não ativar pelo facto do produto ser demasiado largo.

O movimento do tapete nº5 é atualizado conforme a entrada de produtos nesta zona. Quando entra um produto este tapete movimenta-se até o produto chegar à prensa ou durante um tempo específico, definido conforme a velocidade do tapete. Se este tempo for excedido o tapete pára, supondo que a pinça não tinha produto. A segunda situação é análoga à encontrada na pinça do módulo de entrada de rolhas de cortiça e portanto a sua resolução é semelhante.

O código desenvolvido para este módulo encontra-se disponível no anexo [B](#), na secção "Out".

3.5 Interface

Para além dos botões capazes de alterar o modo de funcionamento do sistema, integrou-se também uma consola por forma a interagir com o processo. As funcionalidades principais deste componente englobam a gestão e seleção de receitas e a mudança entre modo manual e modo automático.

As receitas servem para alterar certos parâmetros do sistema de forma automática, adaptando-se o ciclo produtivo às rolhas e cápsulas seleccionadas.

O modo manual permite a atuação de componentes do sistema individualmente.

Para além disso esta interface fornece também dados acerca do estado do sistema e da produção (como alarmes, sensores, atuadores e estatísticas).

3.5.1 Consola

A consola programada é da marca OMRON, modelo NB10W-TW01B. Possui um ecrã tátil de 10 polegadas que comunica com o PLC utilizando o protocolo *EtherNET*.



Figura 3.45: OMRON NB10W-TW01B [19]

Este equipamento possui a aplicação *NB-Designer* para configuração, desenho de páginas e programação.

3.5.2 NB-Designer

Apresenta-se de seguida uma figura que oferece uma visão geral da aplicação, dividida em áreas.

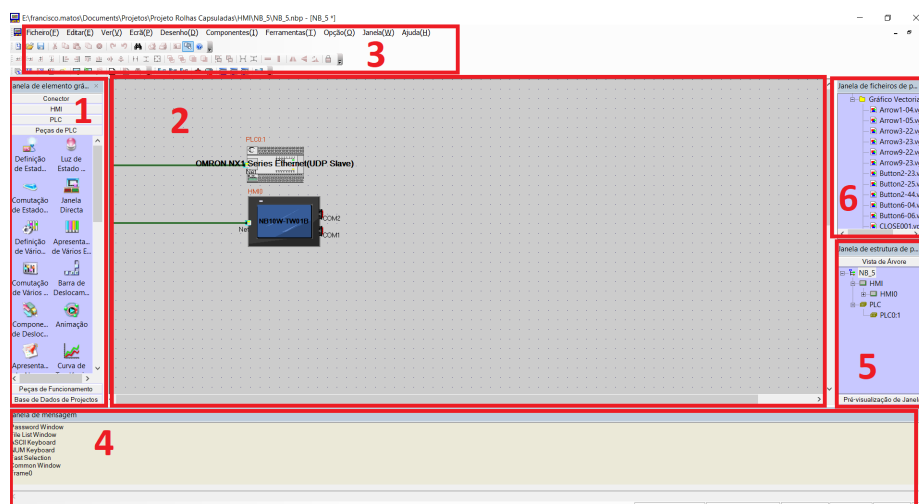


Figura 3.46: NB-Designer - Visão geral

A área 1 mostra os elementos gráficos possíveis de utilizar, quando se pretende configurar ligações e equipamentos (PLC e consola) ou desenhar páginas.

O ambiente de trabalho encontra-se na área 2. Aqui efetuam-se as ações principais (configuração e desenho de páginas), geralmente utilizando os componentes disponíveis na área 1.

Na área 3 é possível aceder a funcionalidades e componentes de trabalho. De realçar as ferramentas de simulação (que permite simular o funcionamento da consola, diretamente na aplicação, para efeitos de teste) e transferência (que proporciona o envio do programa para o equipamento).

A área 4 apresenta uma lista de informações acerca do presente processo na área de trabalho e o estado de ligação com a consola (no caso de transferência em curso).

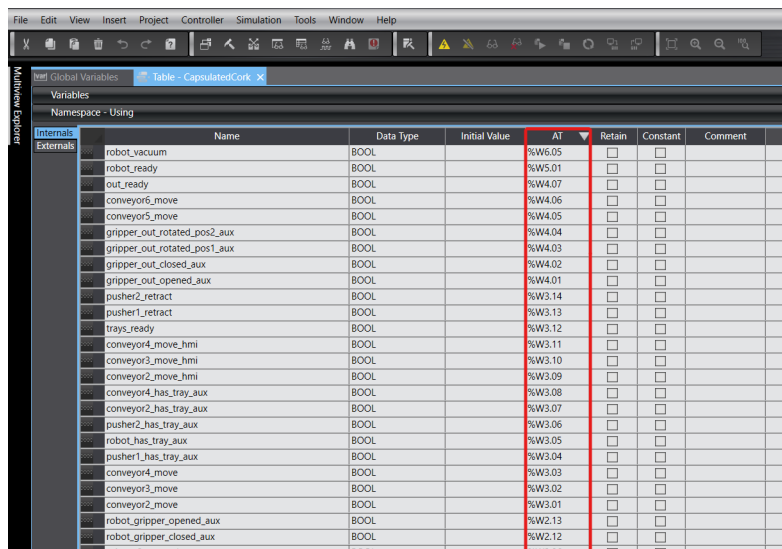
A estrutura do projeto (consola, páginas e suas interligações) é apresentada num diagrama em árvore na área cinco.

Os ficheiros do projeto, nomeadamente imagens (que necessitam de ser importadas individualmente), encontram-se disponíveis na área seis.

3.5.3 Variáveis e memória

Grande parte das variáveis da consola encontram-se em sincronismo com variáveis do autómato. Para isto acontecer, foram configurados em ambos os dispositivos os endereços de memórias destas variáveis partilhadas.

No programa do autómato foi necessário alocar as variáveis que se pretendiam partilhar a um endereço de memória conhecido (figura 3.47).



Name	Data Type	Initial Value	AT	Retain	Constant	Comment
robot_vacuum	BOOL		%W6.05	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
robot_ready	BOOL		%W5.01	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
out_ready	BOOL		%W4.07	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
conveyor6_move	BOOL		%W4.06	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
conveyor5_move	BOOL		%W4.05	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
gripper_out_rotated_pos2_aux	BOOL		%W4.04	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
gripper_out_rotated_pos1_aux	BOOL		%W4.03	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
gripper_out_closed_aux	BOOL		%W4.02	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
gripper_out_opened_aux	BOOL		%W4.01	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
pusher2_retract	BOOL		%W3.14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
pusher1_retract	BOOL		%W3.13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
trays_ready	BOOL		%W3.12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
conveyor4_move_hmi	BOOL		%W3.11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
conveyor3_move_hmi	BOOL		%W3.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
conveyor2_move_hmi	BOOL		%W3.09	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
conveyor4_has_tray_aux	BOOL		%W3.08	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
conveyor2_has_tray_aux	BOOL		%W3.07	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
pusher2_has_tray_aux	BOOL		%W3.06	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
robot_has_tray_aux	BOOL		%W3.05	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
pusher1_has_tray_aux	BOOL		%W3.04	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
conveyor4_move	BOOL		%W3.03	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
conveyor3_move	BOOL		%W3.02	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
conveyor2_move	BOOL		%W3.01	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
robot_gripper_opened_aux	BOOL		%W2.13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
robot_gripper_closed_aux	BOOL		%W2.12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 3.47: Sysmac Studio - Endereços de memória de variáveis

A partir daí, já na aplicação da consola, tornou-se possível utilizar essas variáveis através dos endereços de memória escolhidos anteriormente (figura 3.48).

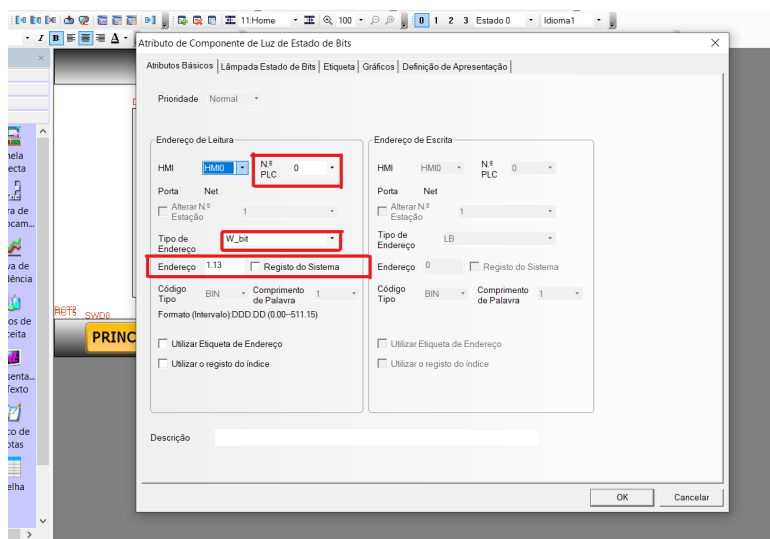


Figura 3.48: NB-Designer - Endereços de memória de variáveis

3.5.4 Páginas e funcionalidades

As primeiras páginas desenvolvidas foram a moldura (*frame*) e a janela comum. A moldura é predefinida do projeto e configura o tamanho do ecrã. A janela comum foi definida para apresentar um menu com quatro entradas para as principais funcionalidades da consola, data/hora e um botão para autenticação do utilizador. Esta janela serve de estrutura a todas as outras páginas.

3.5.4.1 Página principal

A página principal apresenta dados relativos à produção, nomeadamente:

- Receita selecionada
- Tempo de trabalho (em segundos) desde o arranque
- Número de peças produzidas
- Tempo de ciclo
- Percentagem de peças rejeitadas (no caso de integração do sistema de visão)
- Estado da máquina

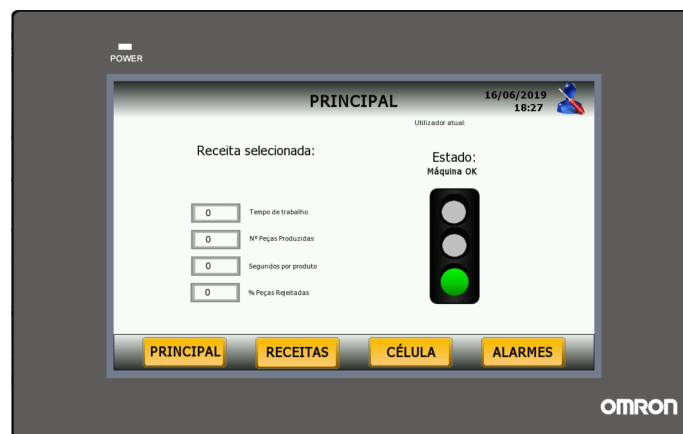


Figura 3.49: Consola - página principal

O semáforo e descrição do estado alternam conforme o sistema se encontre em funcionamento, parado, pausado, finalizando produção ou em emergência.

3.5.4.2 Célula

Esta página apresenta a célula dividida nos respetivos módulos.

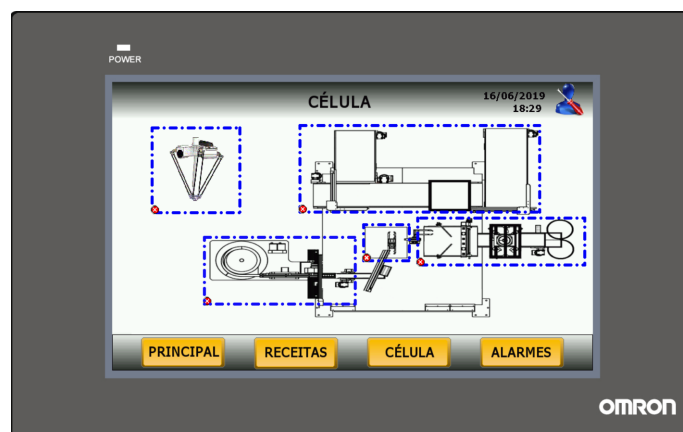


Figura 3.50: Consola - página da célula

Cada zona possui um símbolo associado que avisa relativamente a falhas de funcionamento. Isto torna-se bastante útil quando o sistema não permite o arranque, possibilitando a verificação rápida de qual dos módulos não se encontra pronto. Selecionando cada uma das zonas, é-se automaticamente redirecionado para a página do módulo respetivo. Nestas é possível verificar o estado dos equipamentos (ligado/desligado, em atuação/parado ou habilitado/desabilitado) pela cor (geralmente verde/branco para atuadores e verde/vermelho para sensores). Para além disso pode-se alternar entre o modo automático ou manual, que oculta ou mostra respetivamente botões que ativam ou desativam equipamentos.

As animações dos equipamentos tornam possível o seguimento dos produtos (peças e tabuleiros) nas páginas dos módulos respetivos. Este tipo de apresentações foi simplificado ao máximo

3.5.4.3 Zona de entrada de rolhas

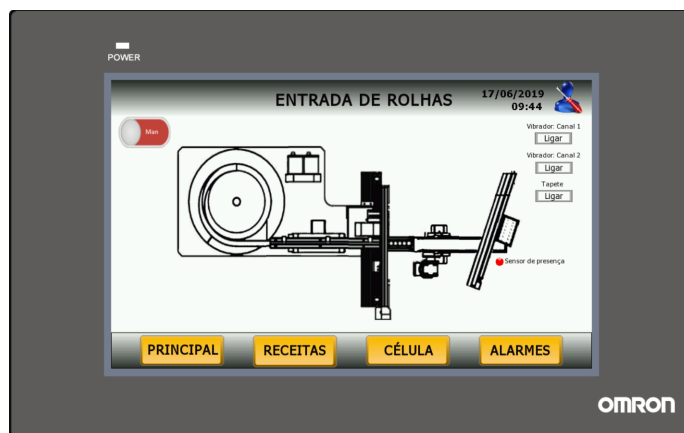


Figura 3.51: Consola - página do módulo de entrada de rolhas

A panela vibratória, a reta vibratória, o tapete e os servo-motores são elementos dinâmicos, ou seja trocam de cor (branco ou verde) conforme a ativação.

O estado do sensor de presença no fim do tapete também pode ser verificado no ícone (lâmpada) respetivo, que alterna entre a cor vermelha e verde (sem rolha/com rolha).

O modo manual permite a ativação da panela e reta vibratórias, bem como do tapete um.

3.5.4.4 Zona de entrada de cápsulas

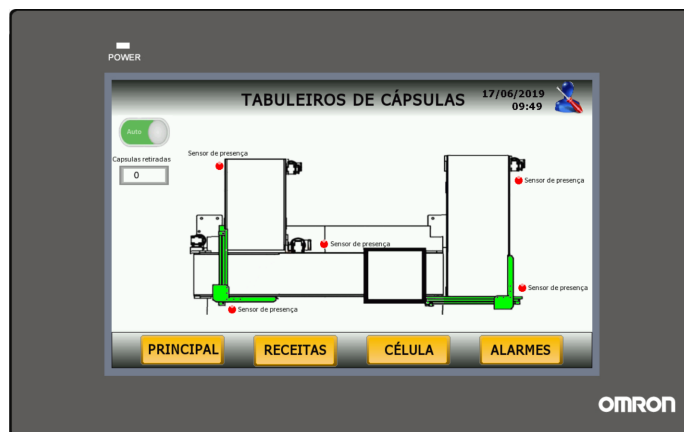


Figura 3.52: Consola - página do módulo de entrada de tabuleiros de cápsulas

Os tapetes e empurradores alternam a cor (branco ou verde) conforme a ativação e atuação, respetivamente.

Existem cinco sensores de presença que verificam a posição dos tabuleiros no sistema. Os seus estados podem ser verificados nos ícones (lâmpadas) que se encontram perto da sua posição.

O modo manual permite a ativação dos empurradores bem como dos tapetes dois, três e quatro.

3.5.4.5 Zona de montagem

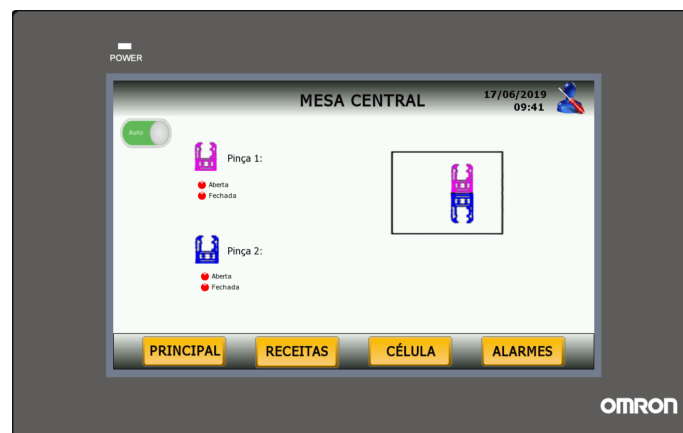


Figura 3.53: Consola - página do módulo de montagem

Nesta página consegue-se verificar o estado das pinças da zona de montagem. Através da mudança de cor das imagens das pinças é possível saber que pinça se encontra em cada estação (ou seja, se se encontra na posição original ou com rotação direta efetuada) e se cada uma destas se encontra aberta ou fechada.

O modo manual permite a abertura ou fecho das pinças individualmente.

3.5.4.6 Zona de saída de produto

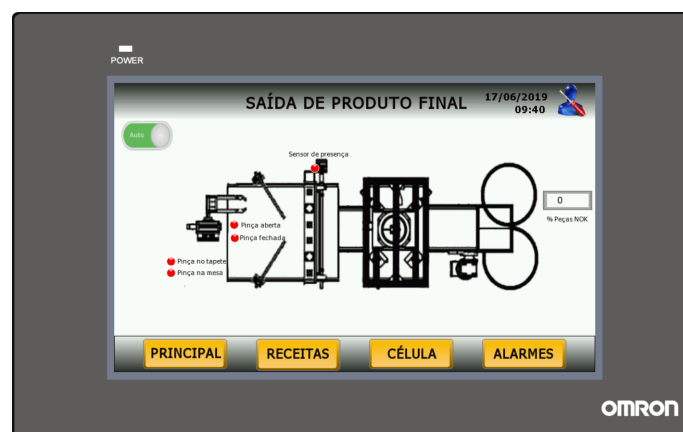


Figura 3.54: Consola - página do módulo de saída de produto

Na figura anterior é possível observar a zona de saída de produto, que engloba a pinça respetiva, os tapetes cinco e seis, a prensa e o módulo de visão de inspeção de produto (sistema de visão). Apresenta-se o estado da pinça de remoção de produto da zona de montagem (fechada ou aberta e no tapete cinco ou fora dele) e a do sensor da prensa pneumática.

Para além disso foi adicionada uma etiqueta com o intuito de apresentar a percentagem de produtos rejeitados pelo sistema de inspeção final.

3.5.4.7 Manipulador

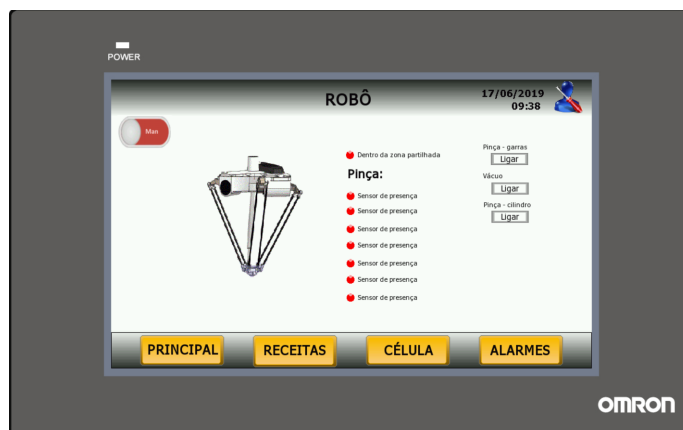


Figura 3.55: Consola - página do manipulador

Esta página apresenta o estado da pinça do robô manipulador bem como se este se encontra dentro da zona de montagem (zona partilhada por diversos elementos).

O modo manual permite a ativação ou desativação dos três atuadores pertencentes à pinça respectiva: cilindro linear de aproximação à cápsula, garras de segurança de cápsula e vácuo.

3.5.4.8 Receitas



Figura 3.56: Consola - página de receitas

Nesta página existem três botões para seleção de receita (três conjuntos cápsula/rolha). Os elementos seleccionados são ilustrados em imagens ao lado, permitindo uma verificação por parte do utilizador.

3.5.4.9 Alarmes

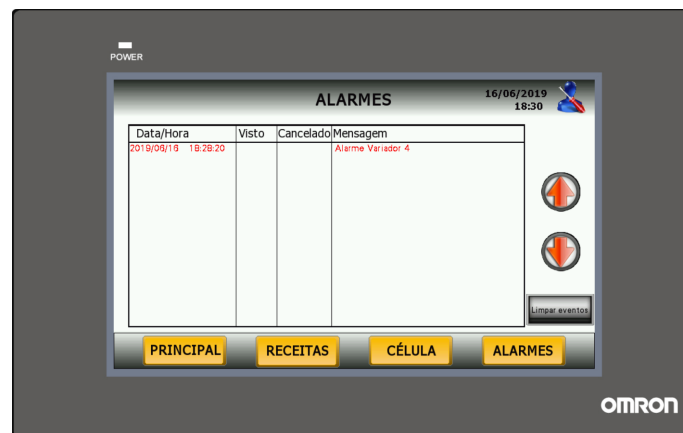


Figura 3.57: Consola - página de alarmes

Esta página foi criada com o intuito de fornecer informação ao utilizador acerca de alarmes despoletados por elementos do sistema, como circuitos de emergência.

Uma mensagem é mostrada e um sinal sonoro é ativado durante um segundo no caso de alarmes em variadores de frequência ou caso seja ativado um botão de emergência.

3.6 Resumo

A solução tecnológica atingida pretende cumprir requisitos e restrições (definidos previamente conforme os objetivos e necessidades exigidos) e é o resultado de um trabalho realizado ao longo de várias etapas. O sistema desenvolvido criou-se por forma a ser possível a alteração dos seus estados de funcionamento (produzindo, pausado, finalizando e parado) através de botões de fácil acesso. Os programas de controlo encontram-se divididos conforme as zonas ou módulos do sistema, permitindo assim uma melhor e mais fácil perceção do seu funcionamento e atualizações futuras conforme seja necessário. Para além disso utiliza-se uma consola, desenhada por forma a ser bastante simples e intuitiva, com o objetivo de apresentar informações relevantes acerca da máquina. A produção é baseada em receitas, que podem ser selecionadas na consola.

Capítulo 4

Testes e resultados

Neste capítulo são apresentados resultados obtidos em testes efetuados ao sistema desenvolvido. Estes testes realizaram-se por forma a avaliar o sistema (nomeadamente velocidade e eficiência) e respetivas características de produção. Para além disso, estes procedimentos tiveram o intuito de verificar e validar o cumprimento dos objetivos do projeto e requisitos do sistema expostos anteriormente. Este capítulo encontra-se dividido em secções que correspondem às receitas criadas. Em cada uma delas são apresentados dois conjuntos de testes, que correspondem respetivamente ao desempenho do sistema antes e após aperfeiçoamentos.

4.1 Receita número um - GOLD

A primeira receita desenvolvida foi designada por "GOLD" e utiliza cápsulas metálicas com diâmetro de 36 milímetros e altura de 10,4 milímetros, pintadas com uma camada brilhante (e portanto mais frágeis), e rolhas de cortiça aglomeradas de diâmetro 19,5 milímetros e altura 27 milímetros. Estes elementos podem ser observados nas figuras [4.1a](#) e [4.1b](#).



(a) Receita GOLD - cápsula



(b) Receita GOLD - rolha de cortiça

Figura 4.1: Receita GOLD - elementos de manipulação

Selecionando esta receita e utilizando estas peças foram realizados três testes. Em todos eles o procedimento realizado e as condições iniciais foram semelhantes:

- Rolhas de cortiça ilimitadas;
- Tabuleiro com cápsulas colocado no início do tapete nº2;
- Seleção da receita previamente ao arranque e início do cronómetro aquando do arranque.

A tabela 4.1 apresenta os resultados obtidos.

	Tempos	Produtos produzidos	Cadência de produção (rolhas/minuto)	Tempo de produção (segundos/rolha)
Teste 1	150	16	6.4	9.375
Teste 2	96	10	6.25	9.6
Teste 3	111	12	6.49	9.25

Tabela 4.1: Resultados obtidos utilizando a receita GOLD - antes de aperfeiçoamentos

Verificando que o sistema não atingia os requisitos exigidos (oito rolhas por minuto), procedeu-se a uma avaliação por forma a averiguar o(s) *bottleneck(s)*¹. Realizaram-se ajustes, nomeadamente no que toca às zonas de entrada de rolhas de cortiça e saída de produto (explorados no capítulo 3). De seguida realizaram-se novos testes, nas mesmas condições referidas anteriormente, cujos resultados se encontram na tabela seguinte (tabela 4.2).

	Tempos	Produtos produzidos	Cadência de produção (rolhas/minuto)	Tempo de produção (segundos/cápsula)
Teste 1	114	16	8.42	7.125
Teste 2	72	10	8.33	7.2
Teste 3	89	12	8.09	7.42

Tabela 4.2: Resultados obtidos utilizando a receita GOLD - depois de aperfeiçoamentos

Como se pode verificar o sistema cumpriu em todos os testes, após os aperfeiçoamentos, o objetivo de cadência de produção definido inicialmente.

Em termos de eficiência² apenas dois produtos poderiam ser considerados rejeições, pelo que se pode considerar que a eficiência do sistema nesta receita se encontra acima dos 97%.

4.2 Receita número dois - LONDON Nº1

A segunda receita desenvolvida foi designada por "LONDON Nº1" e utiliza cápsulas de madeira pintadas de preto com diâmetro de 40,65 milímetros e altura de 12,5 milímetros e rolhas de cortiça maciças de diâmetro 25 milímetros e altura 25 milímetros. Estes elementos podem ser observados nas figuras 4.2a e 4.2b.

¹Componente que limita severamente a capacidade (neste caso produtiva) de um sistema.

²razão entre os produtos produzidos em bom estado e número de conjuntos de componentes que entraram no sistema capazes de formar um produto.



Figura 4.2: Receita LONDON Nº1 - elementos de manipulação

Selecionando esta receita e utilizando estas peças procedeu-se à realização do primeiro conjunto de testes, previamente ao aperfeiçoamento do sistema. O procedimento realizado e as condições iniciais foram análogos aos testes realizados na receita anterior. A tabela 4.3 apresenta os resultados obtidos.

	Tempos	Produtos produzidos	Cadência de produção (rolhas/minuto)	Tempo de produção (segundos/cápsula)
Teste 1	142	16	6.76	8.875
Teste 2	79	8	6.075	9.875
Teste 3	132	14	6.36	9.43

Tabela 4.3: Resultados obtidos utilizando a receita LONDON Nº1 - antes de aperfeiçoamentos

Como se pode verificar, o sistema não atingiu os requisitos exigidos (oito rolhas por minuto). Após os aperfeiçoamentos realizaram-se novos testes a esta receita, nas mesmas condições referidas anteriormente, cujos resultados se encontram na tabela seguinte (tabela 4.4).

	Tempos	Produtos produzidos	Cadência de produção (rolhas/minuto)	Tempo de produção (segundos/cápsula)
Teste 1	113	16	8.50	7.0625
Teste 2	58	8	8.28	7.25
Teste 3	101	14	8.32	7.214

Tabela 4.4: Resultados obtidos utilizando a receita LONDON Nº1 - depois de aperfeiçoamentos

Como se pode observar, neste conjunto de testes o sistema ultrapassou também para esta receita a cadência de produção definida inicialmente.

No total dos testes quatro produtos possuíram defeito (cápsula torta) pelo que a eficiência do sistema no que diz respeito a esta receita encontra-se aproximadamente nos 95%. Considerou-se então que o objetivo de eficiência é também cumprido nesta receita.

4.3 Receita número três - 1969

A terceira receita desenvolvida foi designada por "1969" e utiliza cápsulas de plástico pintadas de vermelho com diâmetro de 30 milímetros e altura de 30 milímetros e rolhas de cortiça aglomeradas de diâmetro 19,5 milímetros e altura 27 milímetros. Estes elementos podem ser observados nas figuras 4.3a e 4.3b.



(a) Receita 1969 - cápsula



(b) Receita 1969 - rolha de cortiça

Figura 4.3: Receita 1969 - elementos de manipulação

Utilizando o mesmo método das receitas anteriores, procedeu-se à realização do primeiro conjunto de testes, previamente ao aperfeiçoamento do sistema. Também o procedimento realizado e as condições iniciais foram análogos aos testes realizados nas receitas anteriores. A tabela 4.5 apresenta os resultados obtidos.

	Tempos	Produtos produzidos	Cadência de produção (rolhas/minuto)	Tempo de produção (segundos/cápsula)
Teste 1	93	10	6.45	9.3
Teste 2	57	6	6.32	9.5
Teste 3	112	12	6.43	9.3

Tabela 4.5: Resultados obtidos utilizando a receita 1969 - antes de aperfeiçoamentos

Como esperado (pelos testes realizados às receitas anteriores) também neste conjunto de testes o sistema não atingiu o requisito de cadência de produção. Realizaram-se então novos testes a esta receita após os aperfeiçoamentos, nas mesmas condições iniciais referidas anteriormente, cujos resultados se encontram na tabela seguinte (tabela 4.6).

	Tempos	Produtos produzidos	Cadência de produção (rolhas/minuto)	Tempo de produção (segundos/cápsula)
Teste 1	71	10	8.45	7.1
Teste 2	44	6	8.18	7.33
Teste 3	89	12	8.09	7.42

Tabela 4.6: Resultados obtidos utilizando a receita 1969 - depois de aperfeiçoamentos

Verificou-se que neste conjunto de testes efetuados ao sistema este cumpriu também o objetivo de cadência de produção definido inicialmente.

Nos testes apresentados para esta receita nenhum dos produtos tinha defeito pelo que neste caso o sistema apresentou uma eficiência de 100%.

4.4 Conclusões

Desenvolveram-se três receitas para o processo de produção de rolhas capsuladas, designadas por "GOLD", "LONDON Nº1" e "1969". Para cada uma delas devem ser utilizadas as cápsulas e rolhas correspondentes. Os testes realizados ao sistema, utilizando diferentes receitas, para além de possuírem uma eficiência bastante elevada (entre os 95% e os 100%), cumpriram a cadência de produção exigida pelos objetivos definidos inicialmente.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalho Futuro

5.1 Satisfação dos Objetivos

Para dar início à dissertação foi necessário bastante trabalho de pesquisa e investigação. A área de automação exige (ou pelo menos beneficia quem possui) elevados conhecimentos acerca do funcionamento e de componentes elétricos e mecânicos. A análise de manuais e folhas técnicas de grande parte dos elementos utilizados (nomeadamente autômato e seus acessórios, consola, servo-motores, cartas e atuadores pneumáticos e sistema vibrador) foi obrigatória e extensa, o que gastou parte do tempo disponível para desenvolvimento. A experiência neste ramo traz imensas vantagens em termos de redução do tempo de desenvolvimento de projetos.

O *layout* produzido está de acordo com o que era pretendido, tendo em conta as circunstâncias do projeto. Os componentes utilizados adequam-se a diversos processos produtivos, algo considerado determinante e fulcral na aprovação deste sistema.

O programa criado para controlo através do autômato adequa-se bem à máquina desenvolvida e a interface desenhada complementa o sistema e funciona de uma maneira bastante intuitiva.

O sistema desenvolvido é capaz de produzir (testado) três modelos de rolhas capsuladas, cumprindo sempre a cadência de produção definida no objetivo secundário (oito produtos por minuto). Tendo em conta os cuidados tomados no controlo do processo produtivo (componentes utilizados e programa de controlo), acredita-se que novos modelos são facilmente produzidos de acordo com as exigências especificadas.

5.2 Futuros desenvolvimentos

De uma forma geral os futuros desenvolvimentos do sistema deverão relacionar-se com otimizações de tempo, adição de novas receitas e testes com a injeção de cola. Averiguou-se que o *bottleneck* do sistema desenvolvido se encontra na zona de entrada de rolhas de cortiça, mais concretamente no pórtico de entrada (*slides*).

5.2.1 Estrutura e componentes mecânicos

A troca dos componentes atuais da zona de montagem para darem lugar a uma mesa rotativa com mais estações é um fator que aumentaria bastante a capacidade de produção da máquina. Para além disso seria necessária a substituição do pórtico de entrada (considerado o *bottleneck* do sistema) por um elemento com elevada rapidez de movimentação (um robô igual ao que manipula as cápsulas, por exemplo).

5.2.2 Programação

Uma parte da programação do sistema (controlo/autómato e interface/consola) deverá ir ao encontro das funcionalidades desejadas para a máquina. O trabalho desenvolvido nesta dissertação é apenas uma amostra das possibilidades e da capacidade do sistema. Caso se pretenda, por exemplo, que este forneça informação relativamente a casos especiais, permita autenticações (e portanto o bloqueio/desbloqueio de funcionalidades) ou adição e eliminação de receitas será necessário investir nestas vertentes, conforme as prioridades.

Outra parte da programação fica dependente de alterações físicas do sistema. Será necessária a realização prévia de testes às modificações por forma a averiguar o seu correto funcionamento e sincronismo. Um estudo relativo à implementação e integração dessas mudanças deverá também ser tido em conta.

Anexo A

Evolução do sistema

A.1 Evolução do módulo de entrada de rolhas



Figura A.1: Módulo de entrada de rolhas - fase um

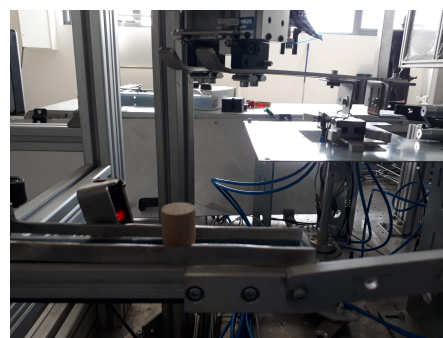


Figura A.2: Módulo de entrada de rolhas - fase dois



Figura A.3: Módulo de entrada de rolhas - fase três (atualmente)

A.2 Evolução do módulo de montagem

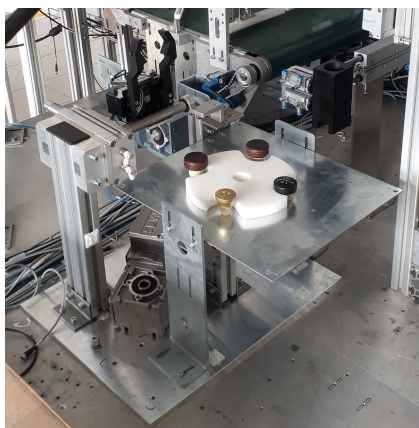


Figura A.4: Módulo de montagem - fase um



Figura A.6: Módulo de montagem - fase três



Figura A.5: Módulo de montagem - fase dois



Figura A.7: Módulo de montagem - fase quatro

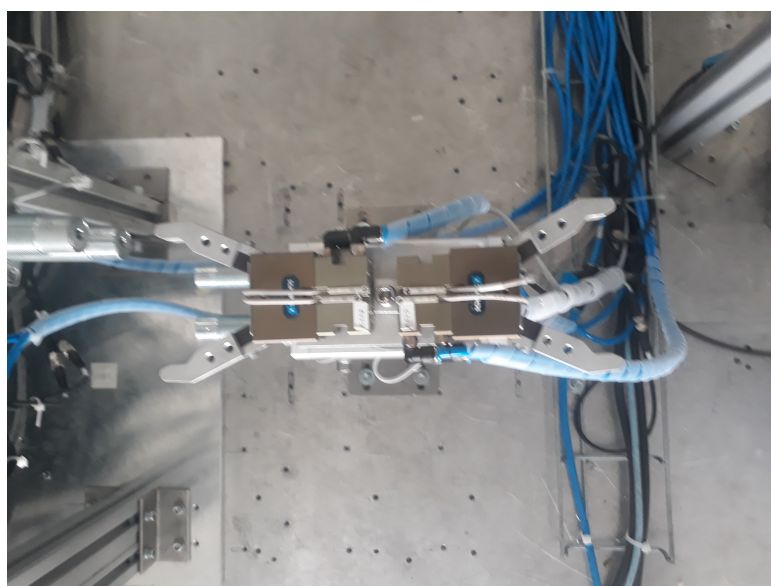


Figura A.8: Módulo de montagem - fase cinco (atualmente)

A.3 Evolução do módulo de saída de produto final



Figura A.9: Módulo de saída de produto - fase um



Figura A.10: Módulo de saída de produto - fase dois (atualmente)

Anexo B

Código desenvolvido para o autômato

v3.37_2

v3.37_2

Author: Francisco Matos

Created: 20/05/2019 12:33:21

Last Modified: 18/06/2019 18:21:15

Comment:

Table of Contents

v3.37_2	3
1.new_Controller_0	3
1-7.POU's	3
1-7-1.Programs	3
1-7-1-1.CapsulatedCork	3
1-7-1-1-1.Variables	3
1-7-1-1-2.Main	14
1-7-1-1-3.Robot	20
1-7-1-1-4.Entrance	22
1-7-1-1-5.Table	32
1-7-1-1-6.Trays	33
1-7-1-1-7.Out	37
1-7-1-1-8.Gripper1	41
1-7-1-1-9.Gripper2	44
1-7-1-1-10.Inspection1	47
1-7-1-1-11.Main_IO	48
1-7-1-1-12.HMI_IO	49
1-7-1-1-13.Robot_IO	52
1-7-1-1-14.Entrance_IO	55
1-7-1-1-15.Table_IO	58
1-7-1-1-16.Trays_IO	60
1-7-1-1-17.Out_IO	62
1-7-1-1-18.Inspections_IO	64
1-7-1-1-19.Receitas	65

1.new_Controller_0**1-7.POU's****1-7-1.Programs****1-7-1-1.CapsulatedCork****1-7-1-1-1.Variables**

Name	Data Type	Initial Value	AT	Retain	Constant	Comment
VAR						
robot_seq_step	INT	999		False	False	
ton_2	TON			False	False	
reset_alarms	BOOL			False	False	
H_Bit0	BOOL			False	False	
H_Bit1	BOOL			False	False	
H_Bit2	BOOL			False	False	
V_Bit0	BOOL			False	False	
V_Bit1	BOOL			False	False	
timer1	TON			False	False	
timer2	TON			False	False	
step_trays	INT	0		False	False	
dclay_300ms	TON			False	False	
step_main	INT	0		False	False	
step_out	INT	0		False	False	
delay_1s_2	TON			False	False	
paused	BOOL	False	%W1.14	False	False	
step_entrance	INT	0		False	False	
delay_1s_6	TON			False	False	
delay_1s_14	TON			False	False	
step_entrance_2	INT	0		False	False	
delay_1s_19	TON			False	False	
step_gripper1	INT			False	False	
colocar_rolha_pinca1	BOOL			False	False	
rearm_light_aux	BOOL			False	False	
stop_light_aux	BOOL			False	False	
pause_light_aux	BOOL			False	False	
start_light_aux	BOOL			False	False	
stop_button_aux	BOOL			False	False	
pause_button_aux	BOOL			False	False	
start_button_	BOOL			False	False	

aux						
pusher1_retract	BOOL		%W3.13	False	False	
pusher2_retract	BOOL		%W3.14	False	False	
emergency_button_aux	BOOL			False	False	
tray_button_light_aux	BOOL			False	False	
pusher1_has_tray_aux	BOOL		%W3.04	False	False	
camera_has_tray_aux	BOOL			False	False	
robot_has_tray_aux	BOOL		%W3.05	False	False	
pusher2_has_tray_aux	BOOL		%W3.06	False	False	
conveyor4_has_tray_aux	BOOL		%W3.08	False	False	
pusher1_advanced_aux	BOOL			False	False	
pusher2_advanced_aux	BOOL			False	False	
conveyor2_move	BOOL		%W3.01	False	False	
conveyor3_move	BOOL		%W3.02	False	False	
conveyor4_move	BOOL		%W3.03	False	False	
conveyor5_move	BOOL		%W4.05	False	False	
conveyor6_move	BOOL		%W4.06	False	False	
stopper_retract	BOOL			False	False	
press_retract	BOOL			False	False	
press_has_cork_aux	BOOL			False	False	
press_advanced_aux	BOOL			False	False	
press_retracted_aux	BOOL			False	False	
package1	BOOL			False	False	
conveyor1_move	BOOL		%W1.02	False	False	
cylinder_robot_retracted_aux	BOOL			False	False	
enable_air_aux	BOOL			False	False	
conveyor1_has_cork_aux	BOOL		%W1.08	False	False	

table_rotate_pos1	BOOL			False	False	
gripper1_close	BOOL			False	False	
gripper2_close	BOOL		%W2.05	False	False	
table_pos2_aux	BOOL		%W2.02	False	False	
table_pos1_aux	BOOL		%W2.01	False	False	
gripper1_closed_aux	BOOL		%W2.03	False	False	
gripper1_opened_aux	BOOL		%W2.04	False	False	
gripper2_closed_aux	BOOL			False	False	
gripper2_opened_aux	BOOL		%W2.06	False	False	
robot_gripper_opened_aux	BOOL		%W2.13	False	False	
robot_gripper_closed_aux	BOOL		%W2.12	False	False	
cylinder_robot_advanced_aux	BOOL			False	False	
cylinder_robot_retract	BOOL	True		False	False	
robot_gripper_close	BOOL	False		False	False	
robot_vacuum	BOOL		%W6.05	False	False	
pos_reached_H_aux	BOOL			False	False	
pos_reached_V_aux	BOOL			False	False	
vibrator_channel1_aux	BOOL		%W1.06	False	False	
vibrator_channel2_aux	BOOL		%W1.07	False	False	
gripper_entrance_close	BOOL			False	False	
BkRLS_V_aux	BOOL			False	False	
BkRLS_H_aux	BOOL			False	False	
pos_home_H_aux	BOOL	False		False	False	
pos_home_V_aux	BOOL	False		False	False	
motor_on_V_aux	BOOL			False	False	

move_home	BOOL			False	False	
gripper_entrance_closed_aux	BOOL			False	False	
gripper_entrance_opened_aux	BOOL			False	False	
tray_button_aux	BOOL			False	False	
Alarm_H_aux	BOOL			False	False	
Alarm_V_aux	BOOL			False	False	
motor_on_H_aux	BOOL			False	False	
drive_H_aux	BOOL		%W1.09	False	False	
drive_V_aux	BOOL		%W1.10	False	False	
stopped	BOOL		%W1.12	False	False	
started	BOOL		%W1.13	False	False	
robot_ready	BOOL		%W5.01	False	False	
entrance_ready	BOOL		%W1.11	False	False	
trays_ready	BOOL		%W3.12	False	False	
out_ready	BOOL		%W4.07	False	False	
table_ready	BOOL			False	False	
gripper1_ready	BOOL	False		False	False	
gripper2_ready	BOOL	False		False	False	
gripper1_waiting_to_receive	BOOL			False	False	
entrance_gripper_in_table	BOOL			False	False	
gripper1_has_cork	BOOL			False	False	
cork_waiting_for_robot	BOOL			False	False	
cork_waiting_for_out	BOOL			False	False	
gripper_out_opened_aux	BOOL		%W4.01	False	False	
gripper_out_closed_aux	BOOL		%W4.02	False	False	
delay_1s_29	TON			False	False	
pick_capsule	BOOL			False	False	
place_capsule	BOOL			False	False	
robot_is_working	BOOL			False	False	
robot_is_pau	BOOL			False	False	

sed						
robot_is_stopped	BOOL			False	False	
robot_in_safe	BOOL			False	False	
undefined_input	BOOL			False	False	
robot_out_of_table	BOOL			False	False	
init	BOOL			False	False	
robot_to_safe	BOOL			False	False	
robot_dance	BOOL			False	False	
undefined_output	BOOL			False	False	
robot_gripper_picked	BOOL			False	False	
robot_gripper_placed	BOOL			False	False	
step_gripper2	INT			False	False	
gripper2_waiting_to_receive	BOOL			False	False	
gripper2_has_cork	BOOL			False	False	
delay_1s_30	TON			False	False	
gripper_out_close	BOOL			False	False	
gripper_out_rotate_pos1	BOOL			False	False	
gripper_out_rotated_pos2_aux	BOOL		%W4.04	False	False	
gripper_out_rotated_pos1_aux	BOOL		%W4.03	False	False	
step_out_2	INT			False	False	
delay_1s_31	TON			False	False	
gripper_out_has_cork	BOOL			False	False	
robot_out_of_table_aux	BOOL			False	False	VARIAVEL DE TESTES FALTA TIRAR O_aux
e_stop	BOOL		%W0.08	False	False	
delay_1s_32	TON			False	False	
delay_2s_3	TON			False	False	
delay_500ms	TON			False	False	
delay_500ms_1	TON			False	False	
conveyor2_has_tray_aux	BOOL		%W3.07	False	False	
delay_1s_33	TON			False	False	

manual_control	BOOL		%W1.01	False	False	HMI Output
manual_control_aux	BOOL			False	False	
conveyor1_move_hmi	BOOL		%W1.03	False	False	
conveyor2_move_hmi	BOOL		%W3.09	False	False	
conveyor3_move_hmi	BOOL		%W3.10	False	False	
conveyor4_move_hmi	BOOL		%W3.11	False	False	
conveyor5_move_hmi	BOOL			False	False	
conveyor6_move_hmi	BOOL			False	False	
vibrator_channel1_hmi	BOOL		%W1.04	False	False	
vibrator_channel2_hmi	BOOL		%W1.05	False	False	
tray_empty	BOOL			False	False	
delay_500ms_2	TON			False	False	
step_inspection1	INT			False	False	
inspec	BOOL			False	False	
inspec1_ok	BOOL			False	False	
inspec1_not_ok	BOOL			False	False	
inspected	BOOL			False	False	
inspection1_ready_aux	BOOL	False		False	False	
inspection2_ready_aux	BOOL	False		False	False	
start_light_blink	BOOL	False		False	False	
pulse_blink_light	TP			False	False	
stop_light_blink	BOOL			False	False	
pulse_blink_start	TP			False	False	
pulse_blink_stop	TP			False	False	
pulse_blink_pause	TP			False	False	
pause_light_blink	BOOL			False	False	
pulse_blink_start_t1	TON			False	False	
pulse_blink_start_t2	TON			False	False	

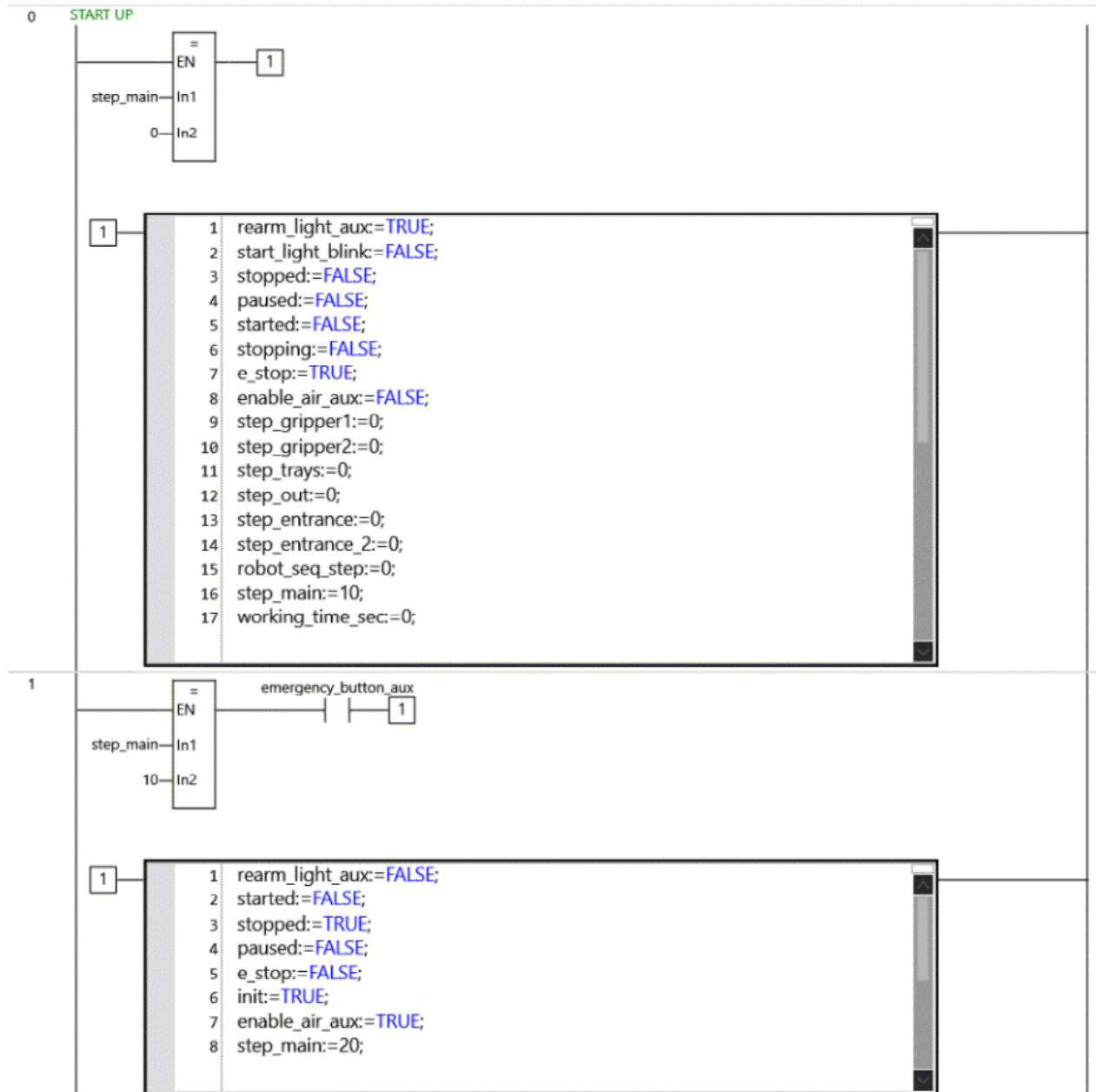
delay_300ms_1	TON			False	False	
pulse_blink_stop_t1	TON			False	False	
pulse_blink_stop_t2	TON			False	False	
delay_1s_34	TON			False	False	
tray_button_light_blink	BOOL			False	False	
pulse_blink_tray_t1	TON			False	False	
pulse_blink_trays_t2	TON			False	False	
pulse_blink_trays_t1	TON			False	False	
started_time	TIME			False	False	
timer_started	TON			False	False	
timer_conveyor5_running	TON			False	False	
delay_1s_35	TON			False	False	
conveyor5_free	BOOL			False	False	
conveyor6_move_timer	TON			False	False	
conveyor6_off_delay	BOOL			False	False	
conveyor6_timer	AccumulationTimer			False	False	
working_time_aux	TIME			False	False	
working_time_sec	LINT	0	%D10	True	False	
working_time	REAL	0		False	False	
finished_products	REAL	0.0		False	False	
machine_velocity	REAL	0.0		True	False	
no_rejected_finished_products	REAL	0.0		False	False	
rejected_finished_products_ratio	REAL	0.0		False	False	
one_hundred	REAL	100		False	False	
rejected_finished_products	REAL	0.0		False	False	
rejected_finished_products_int	LINT	0	%D13	True	False	

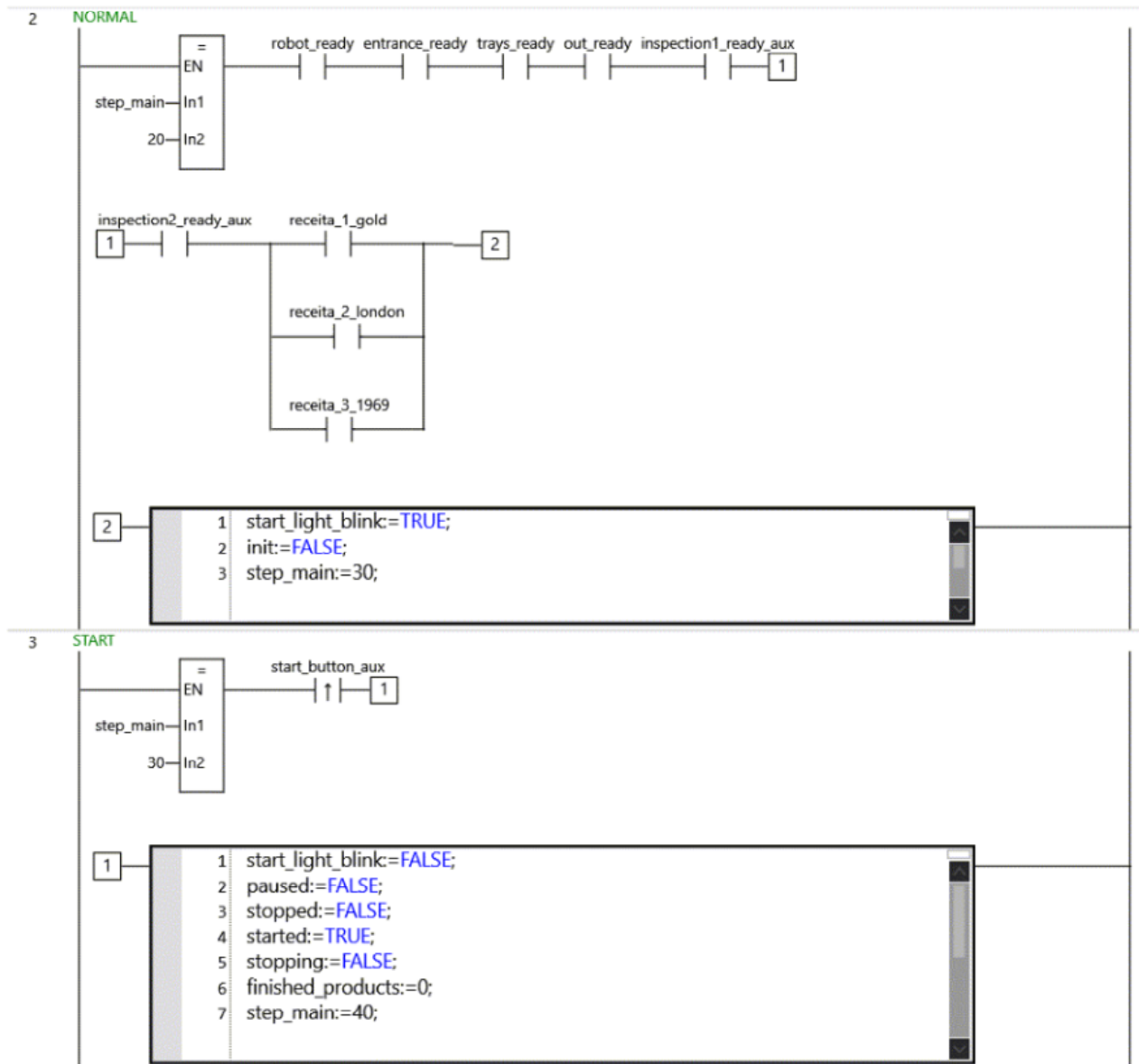
timer_start	AccumulationTimer			False	False	
machine_velocity_int	LINT		%D12	True	False	
finished_products_int	LINT	0	%D11	True	False	
timer_robot_gripper_close	TON			False	False	
limpa_pc	BOOL			False	False	
receita_1_gold	BOOL	True	%W0.03	False	False	
receita_2_load	BOOL	False	%W0.04	False	False	
receita_3_1969	BOOL	False	%W0.05	False	False	
receita_2_gold	BOOL			False	False	
rolha_1	BOOL		%W0.06	False	False	
rolha_2	BOOL		%W0.07	False	False	
stopping	BOOL		%W1.15	False	False	
timer_stop_button	TON			False	False	
emergency_button_hmi	BOOL		%W0.09	False	False	
stop_now	BOOL			False	False	
robot_stop	BOOL			False	False	
delay_gripper1_close	TON			False	False	
delay_gripper_out_close	TON			False	False	
VAR_EXTERNAL						
ePLC_IO_to_Robot	ePLC_IO_UDT				False	
Var15_MovFwd	BOOL				False	
ePLC_IO_from_Robot	ePLC_IO_UDT				False	
E_V1_13_A	BOOL				False	
E_V1_13_B	BOOL				False	
E_V1_10_A	BOOL				False	
E_V1_10_B	BOOL				False	
E_V1_12_A	BOOL				False	
E_V1_12_B	BOOL				False	
move_Home_Portico	BOOL				False	
BkRLS_V	BOOL				False	
BkRLS_H	BOOL				False	
Alarm_Reset_H	BOOL				False	
Pos_bit0_H	BOOL				False	

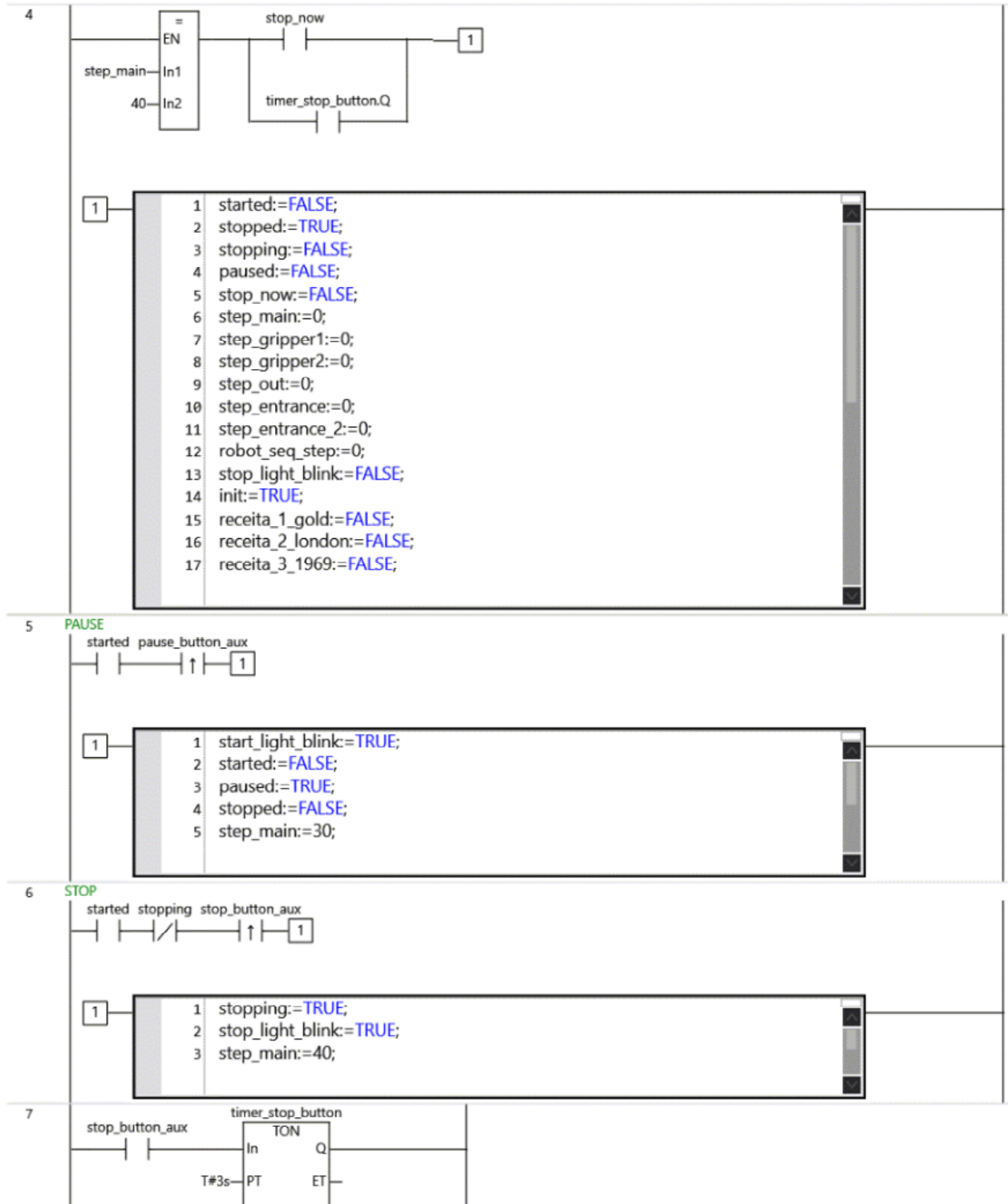
Pos_bit1_H	BOOL			False	
Pos_bit2_H	BOOL			False	
Pos_bit0_V	BOOL			False	
Pos_bit1_V	BOOL			False	
Var1_MovFwd	BOOL			False	
Var9_MovFwd	BOOL			False	
Var2_MovFwd	BOOL			False	
Var11_MovFwd	BOOL			False	
Var12_MovFwd	BOOL			False	
E_V1_08_A	BOOL			False	
E_V1_08_B	BOOL			False	
Drive_V	BOOL			False	
gripper2_opened	BOOL			False	
gripper1_closed	BOOL			False	
table_pos1	BOOL			False	
table_pos2	BOOL			False	
gripper2_closed	BOOL			False	
gripper1_opened	BOOL			False	
pusher1_has_tray	BOOL			False	
camera_has_tray	BOOL			False	
robot_has_tray	BOOL			False	
pusher2_has_tray	BOOL			False	
conveyor4_has_tray	BOOL			False	
pusher1_advanced	BOOL			False	
pusher2_advanced	BOOL			False	
Alarm_H	BOOL			False	
Alarm_V	BOOL			False	
conveyor1_has_cork	BOOL			False	
gripper_entrance_opened	BOOL			False	
gripper_entrance_closed	BOOL			False	
press_has_cork	BOOL			False	
Pos_reached	BOOL			False	

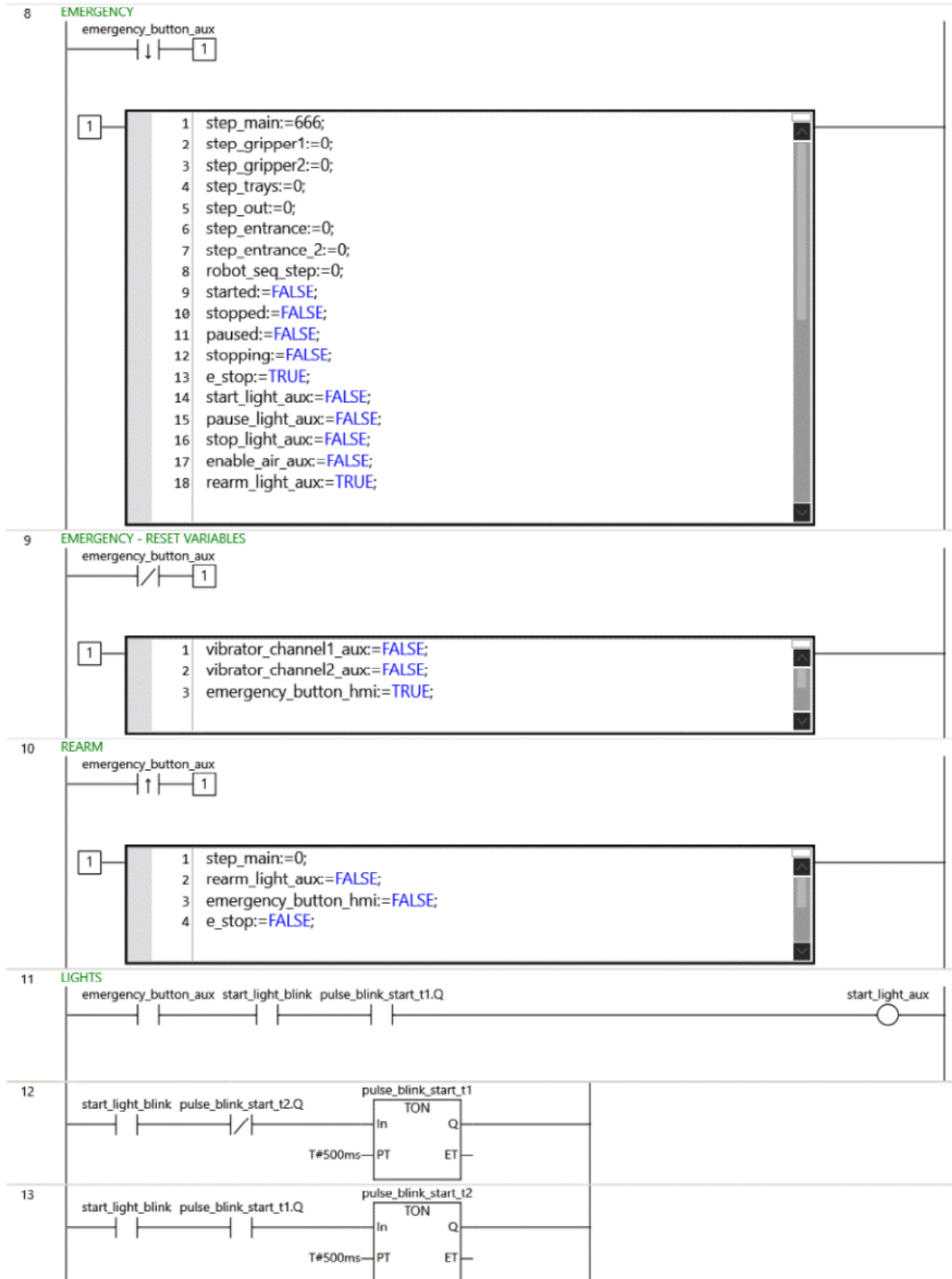
H						
Pos_reached_V	BOOL				False	
stop_button	BOOL				False	
pause_button	BOOL				False	
start_button	BOOL				False	
rearm_light	BOOL				False	
stop_light	BOOL				False	
pause_light	BOOL				False	
start_light	BOOL				False	
E_V3_03_A	BOOL				False	
E_V3_03_B	BOOL				False	
E_V3_04_A	BOOL				False	
E_V3_04_B	BOOL				False	
emergency_button	BOOL				False	
tray_button_light	BOOL				False	
E_V2_01_A	BOOL				False	
E_V2_01_B	BOOL				False	
E_V2_02_A	BOOL				False	
E_V2_02_B	BOOL				False	
press_advanced	BOOL				False	
press_retracted	BOOL				False	
E_V2_03_A	BOOL				False	
E_V2_03_B	BOOL				False	
E_V3_01_A	BOOL				False	
E_V3_01_B	BOOL				False	
E_V3_02_A	BOOL				False	
E_V3_02_B	BOOL				False	
E_V3_08_B	BOOL				False	
cylinder_robot_retracted	BOOL				False	
enable_air	BOOL				False	
robot_gripper_opened	BOOL				False	
robot_gripper_closed	BOOL				False	
cylinder_robot_advanced	BOOL				False	
vibrator_channel1	BOOL				False	
vibrator_channel2	BOOL				False	
alarm_reset_V	BOOL				False	
drive_H	BOOL				False	
motor_on_H	BOOL				False	
pos_home_H	BOOL				False	

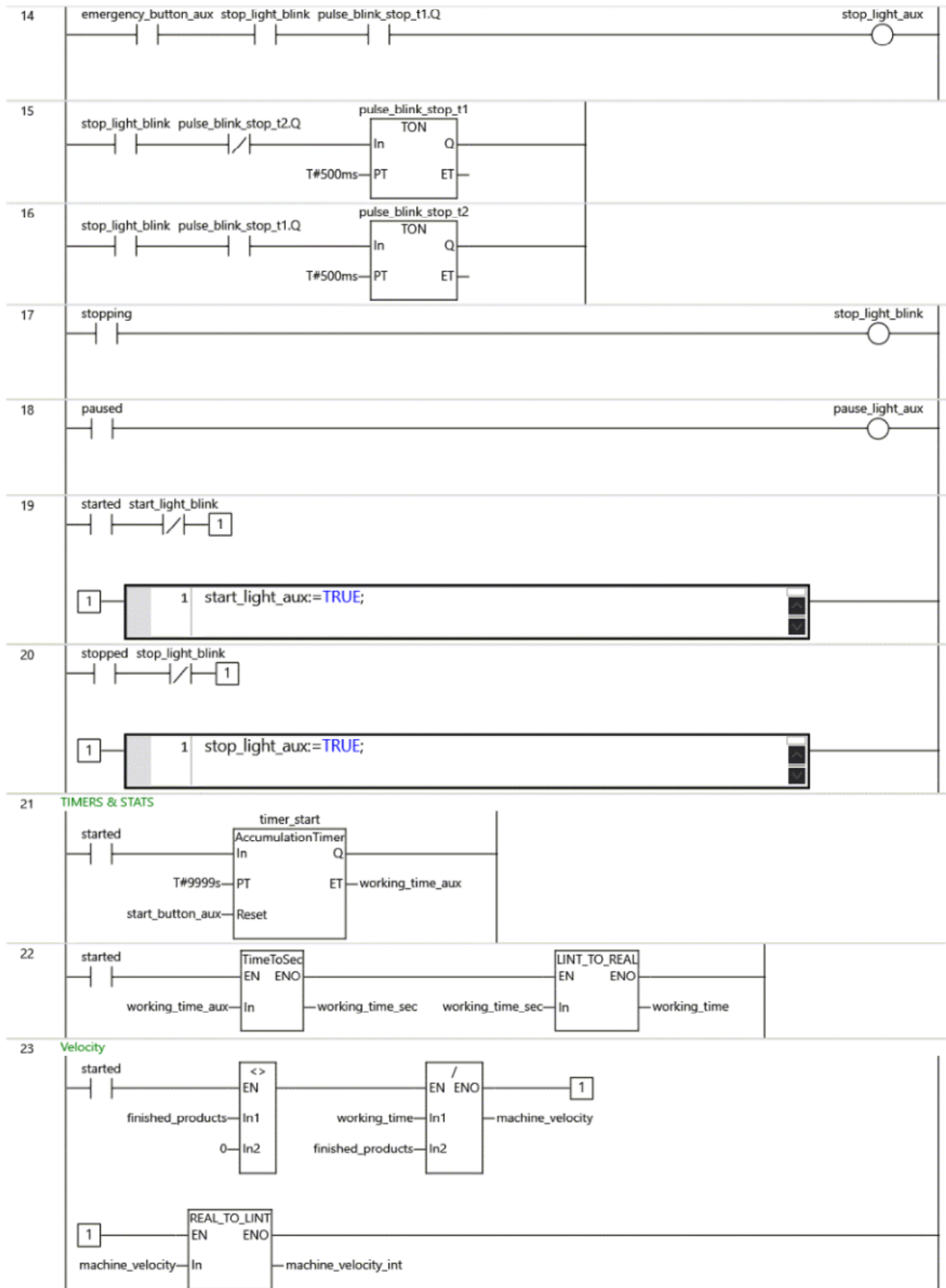
pos_home_V	BOOL				False	
motor_on_V	BOOL				False	
tray_button	BOOL				False	
gripper_out_opened	BOOL				False	
gripper_out_closed	BOOL				False	
E_V1_09_A	BOOL				False	
E_V1_09_B	BOOL				False	
E_V1_11_B	BOOL				False	
E_V1_11_A	BOOL				False	
gripper_out_rotated_pos1	BOOL				False	
gripper_out_rotated_pos2	BOOL				False	
conveyor2_has_tray	BOOL				False	
conveyor1_camera_has_cork	BOOL				False	
inspection1_trigger	BOOL				False	
inspection1_trigger_ack	BOOL				False	
inspection1_busy	BOOL				False	
inspection1_ready	BOOL				False	
inspection2_ready	BOOL				False	
E_V14_A	BOOL				False	
E_V14_B	BOOL				False	

1-7-1-1-2.Main

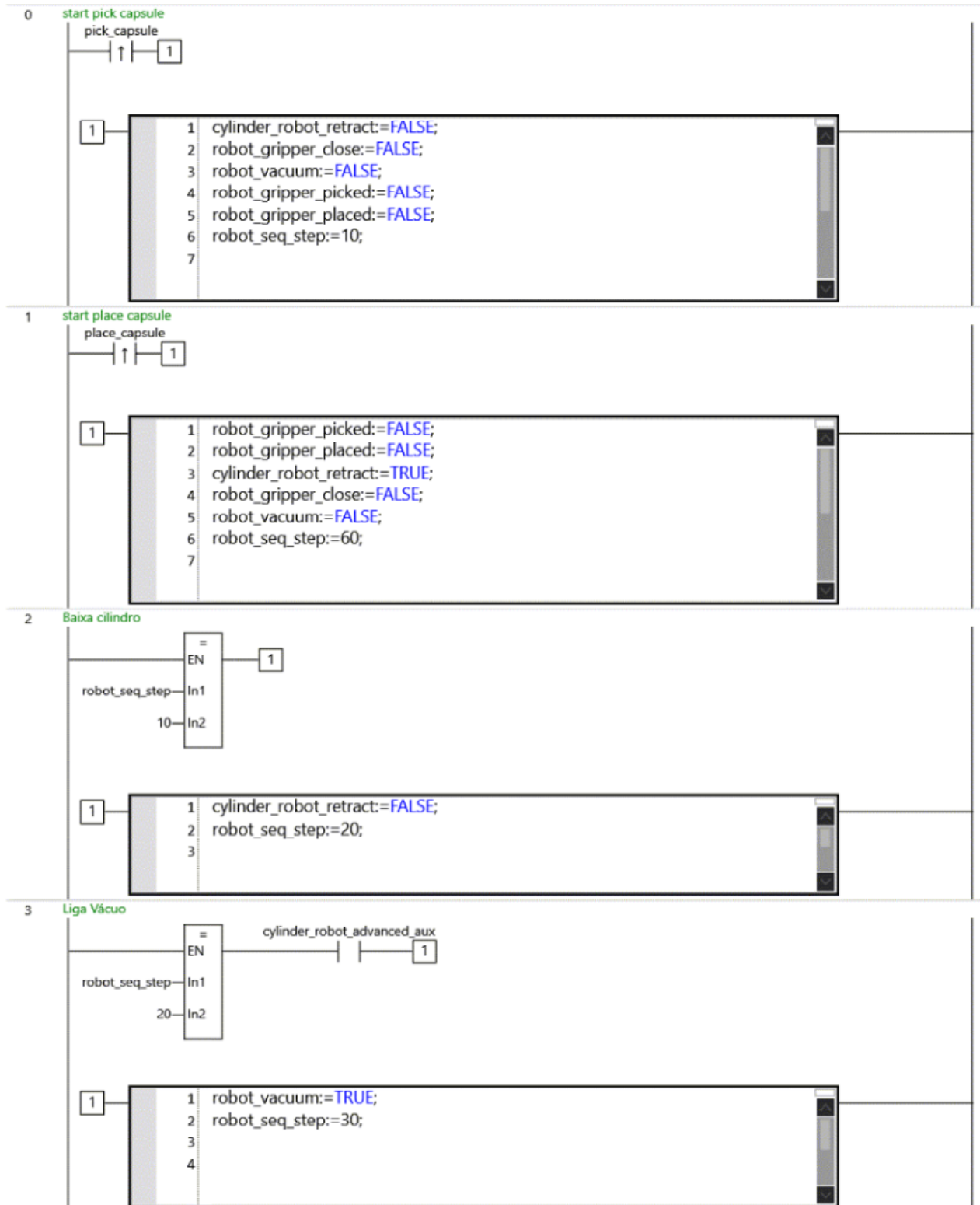


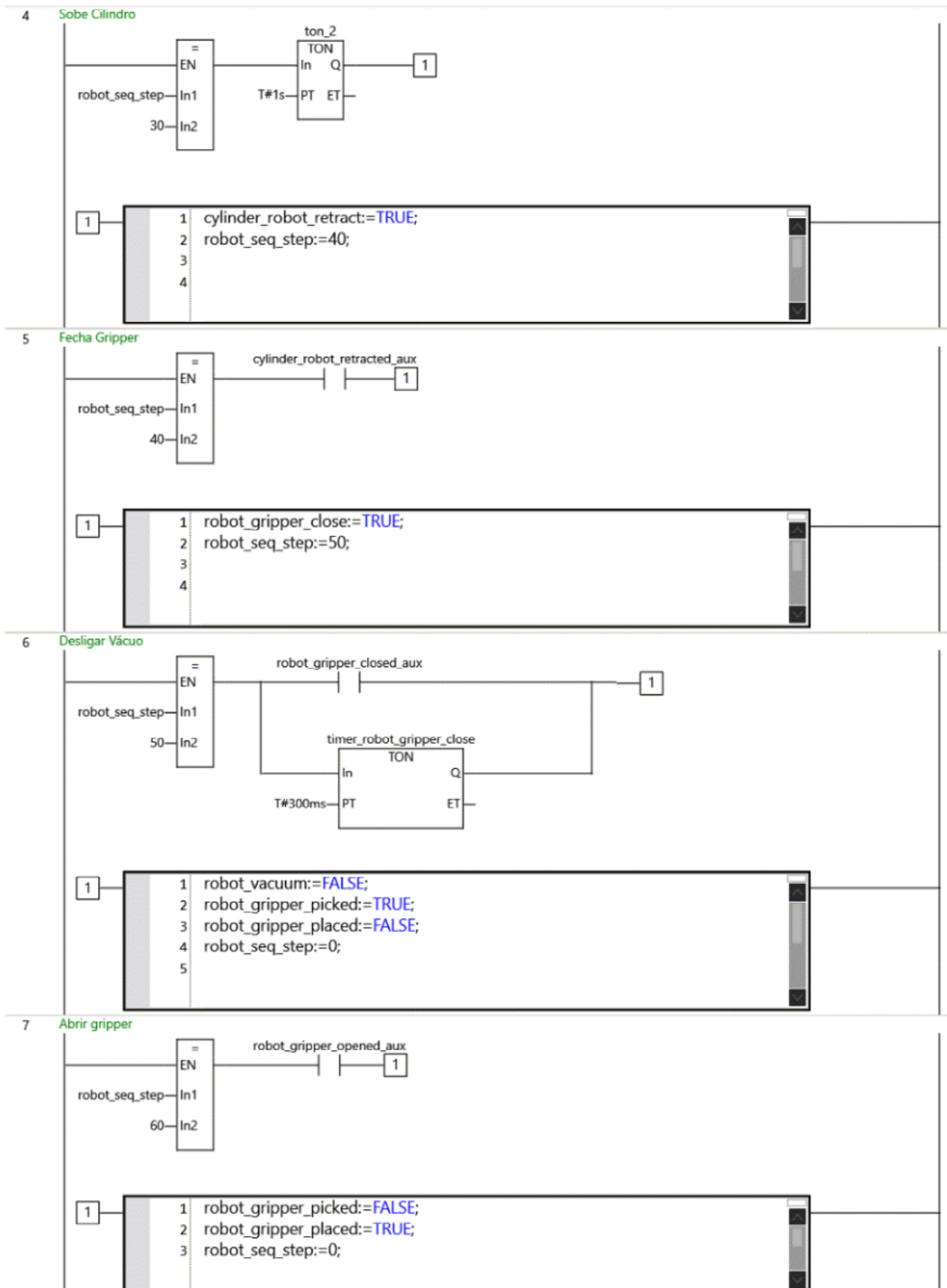


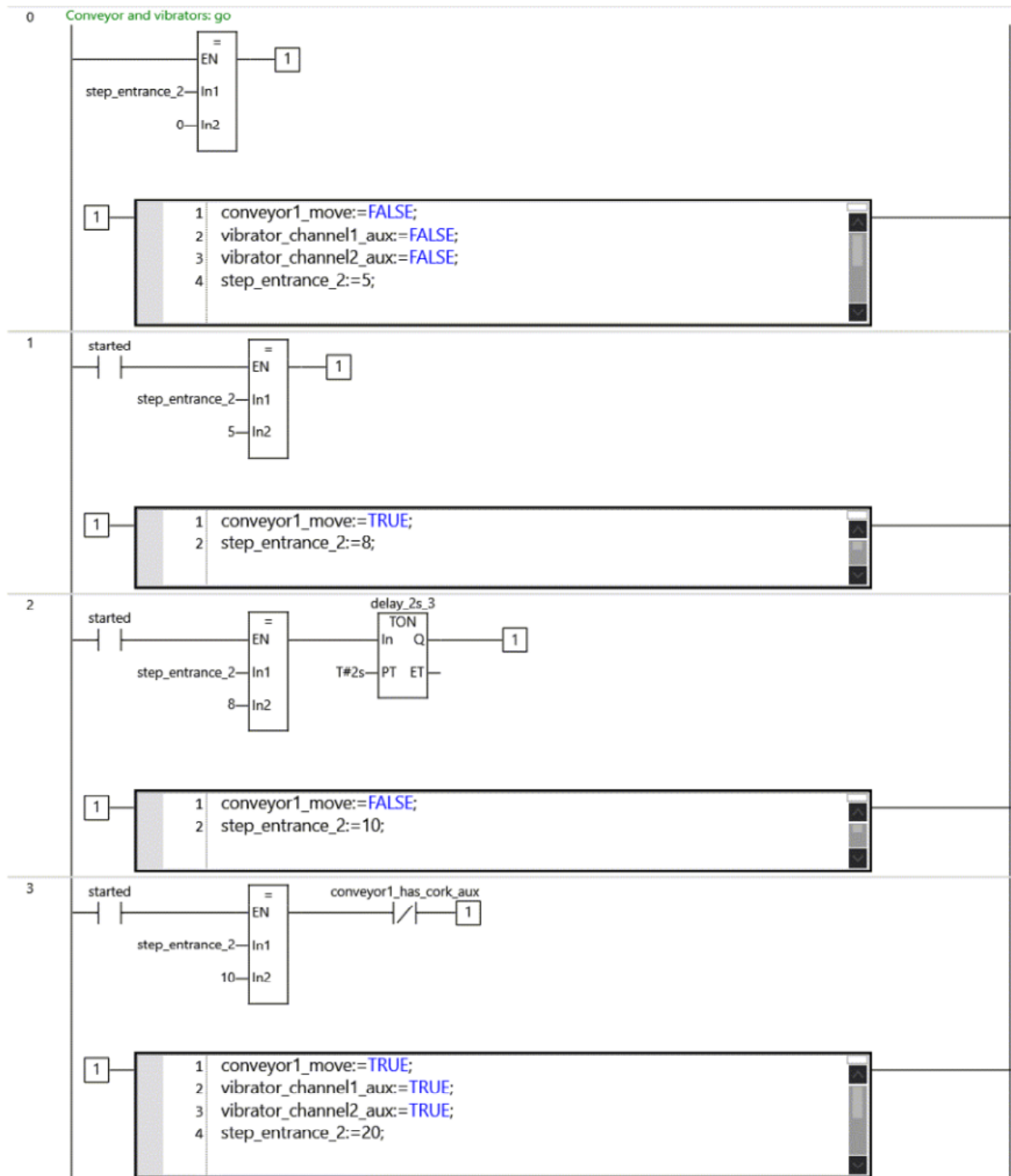


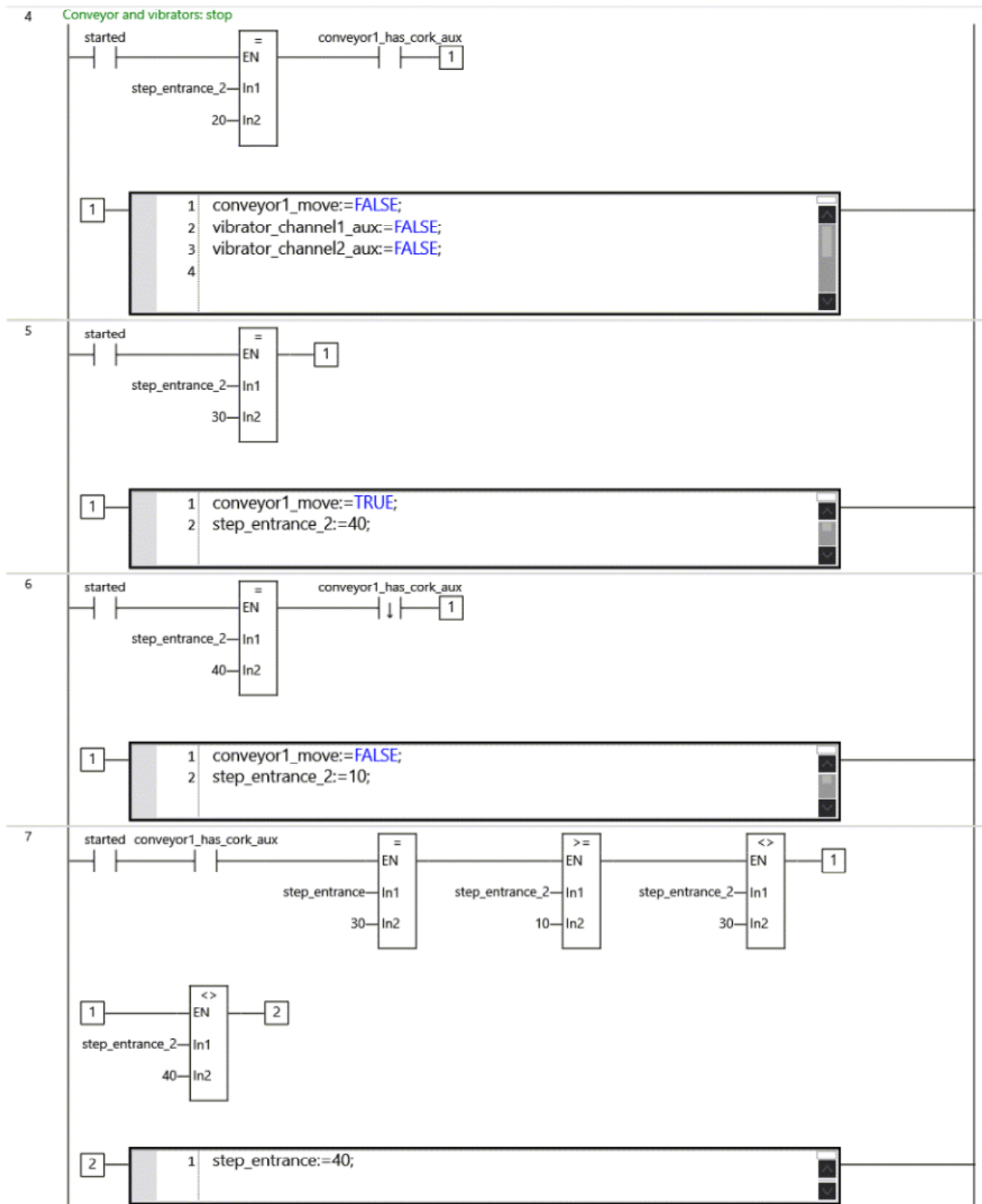




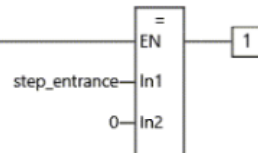
1-7-1-1-3.Robot



1-7-1-1-4.Entrance

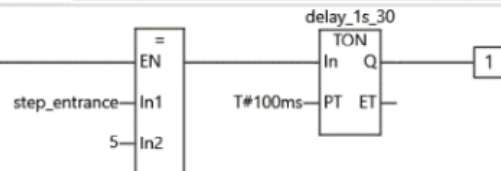


8 INITIALIZATION - reset and home



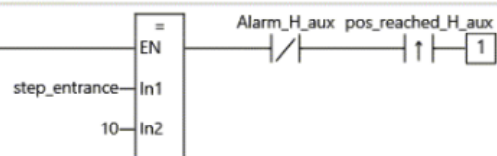
```
1 BkRLS_H_aux:=TRUE;  
2 BkRLS_V_aux:=TRUE;  
3 motor_on_H_aux:=TRUE;  
4 motor_on_V_aux:=TRUE;  
5 H_Bit0:=FALSE;  
6 H_Bit1:=FALSE;  
7 H_Bit2:=FALSE;  
8 V_Bit0:=FALSE;  
9 V_Bit1:=FALSE;  
10 drive_H_aux:=FALSE;  
11 drive_V_aux:=FALSE;  
12 reset_alarms:=FALSE;  
13 pos_home_H_aux:=FALSE;  
14 pos_home_V_aux:=FALSE;  
15 gripper_entrance_close:=FALSE;  
16 entrance_gripper_in_table:=FALSE;  
17 step_entrance:=5;  
18
```

9

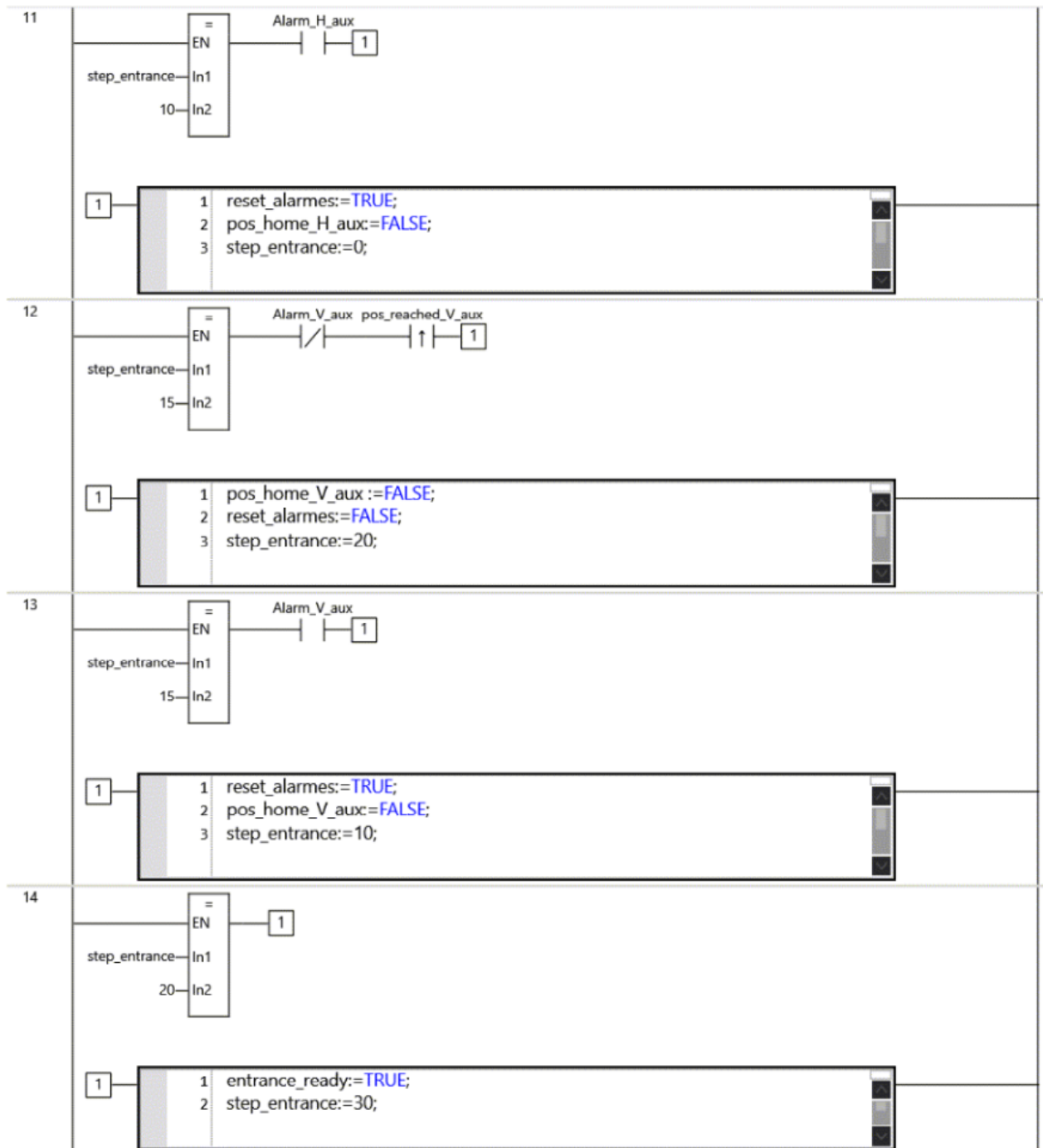


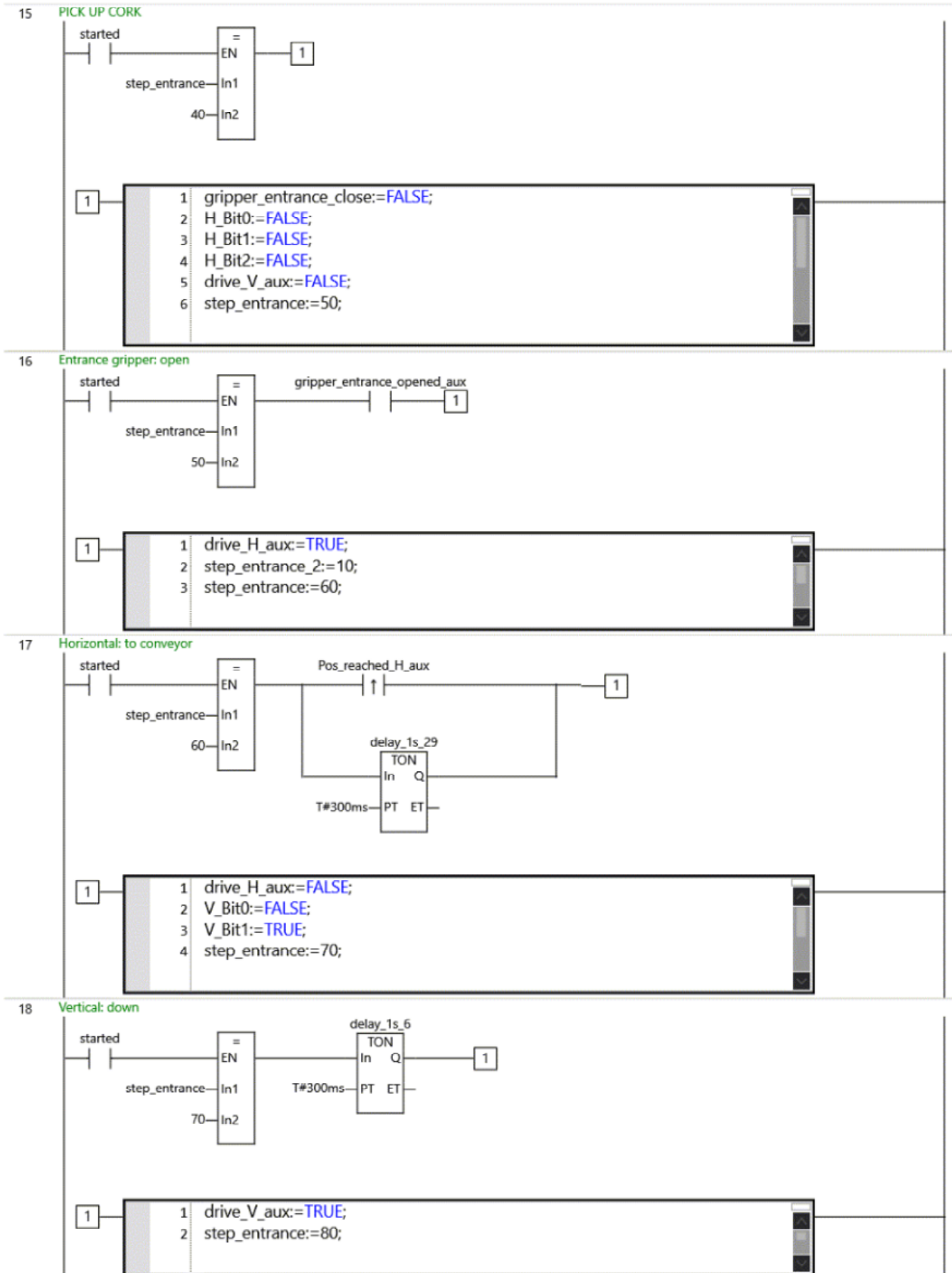
```
1 pos_home_H_aux:=TRUE;  
2 step_entrance:=10;  
3
```

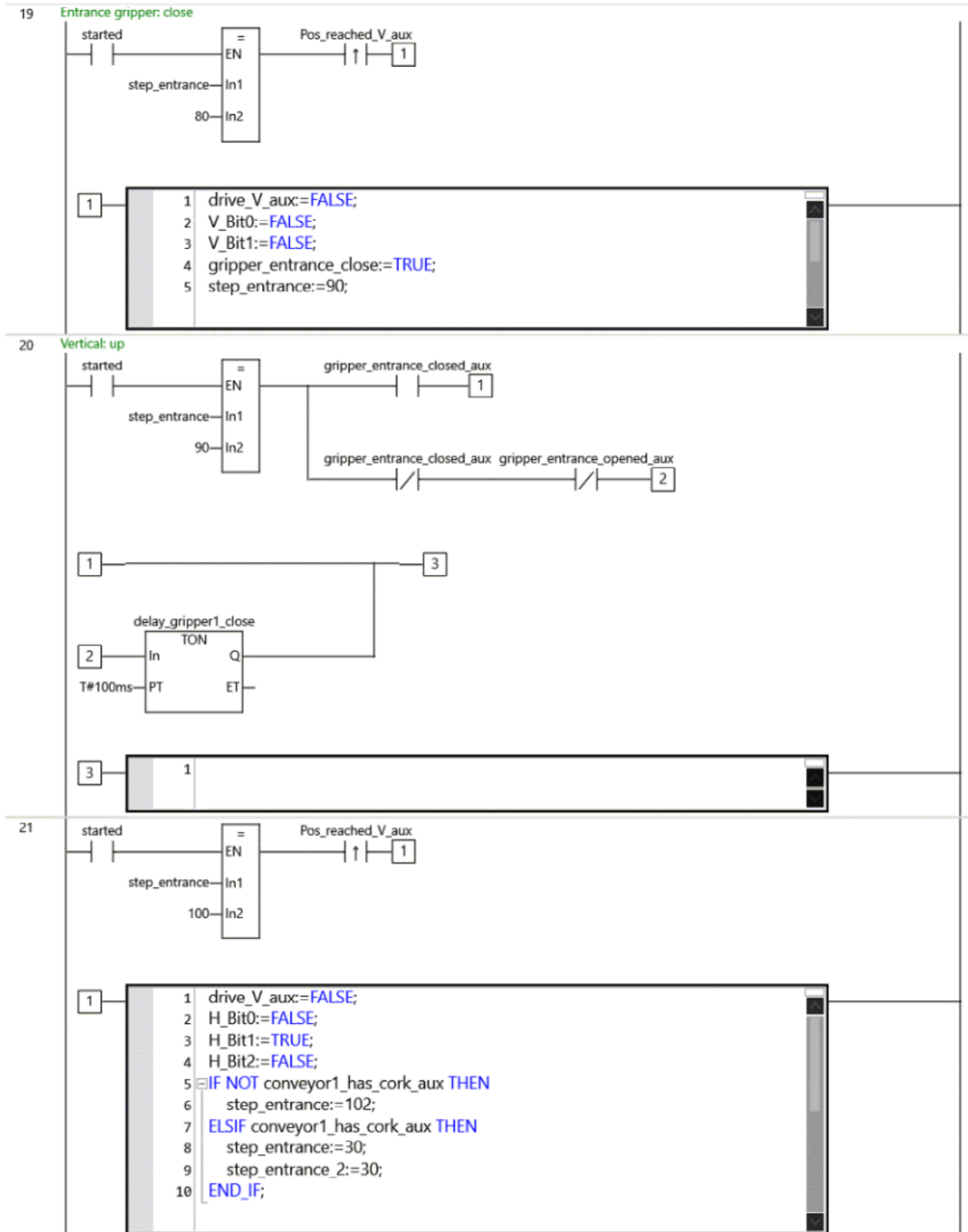
10

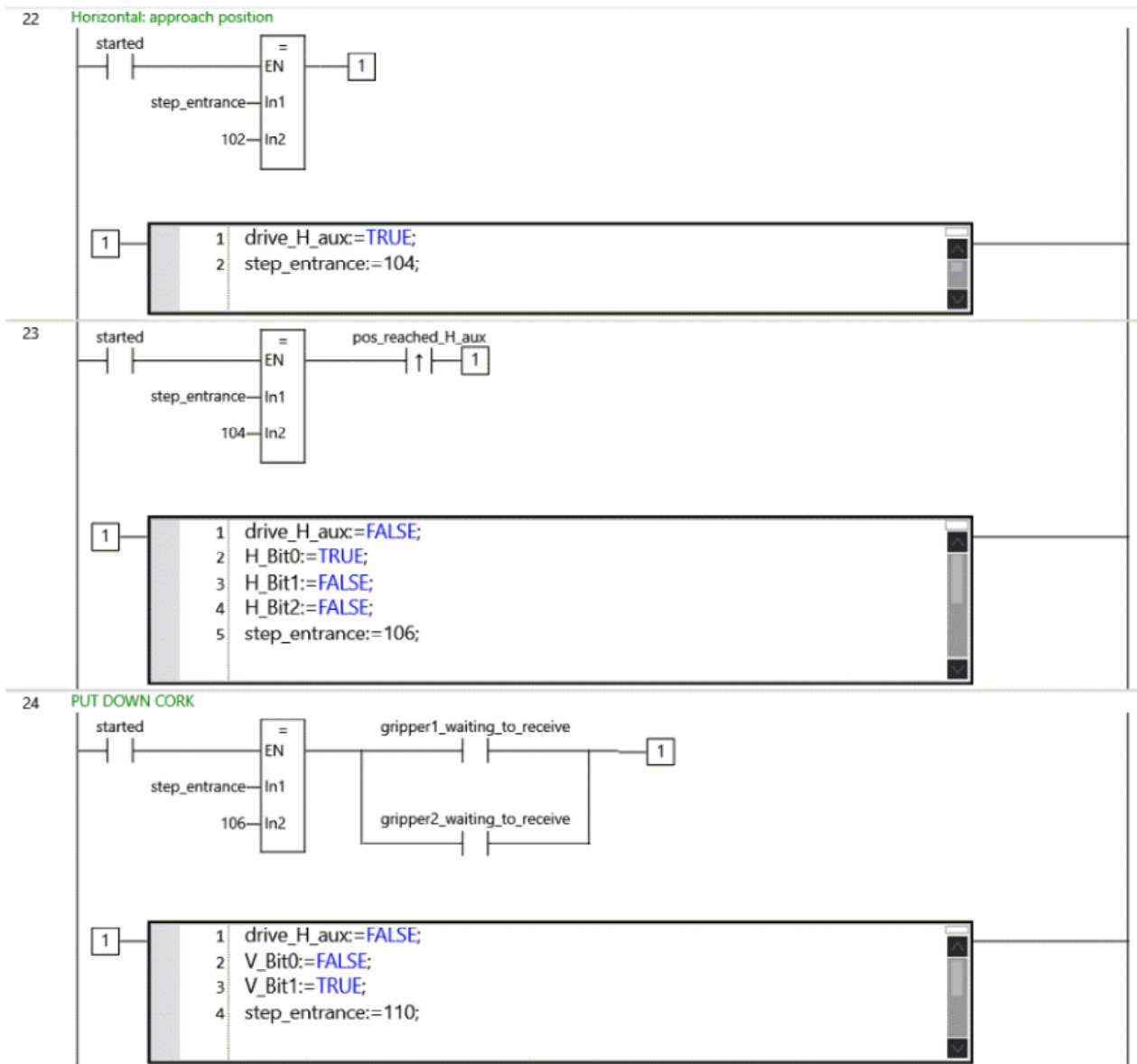


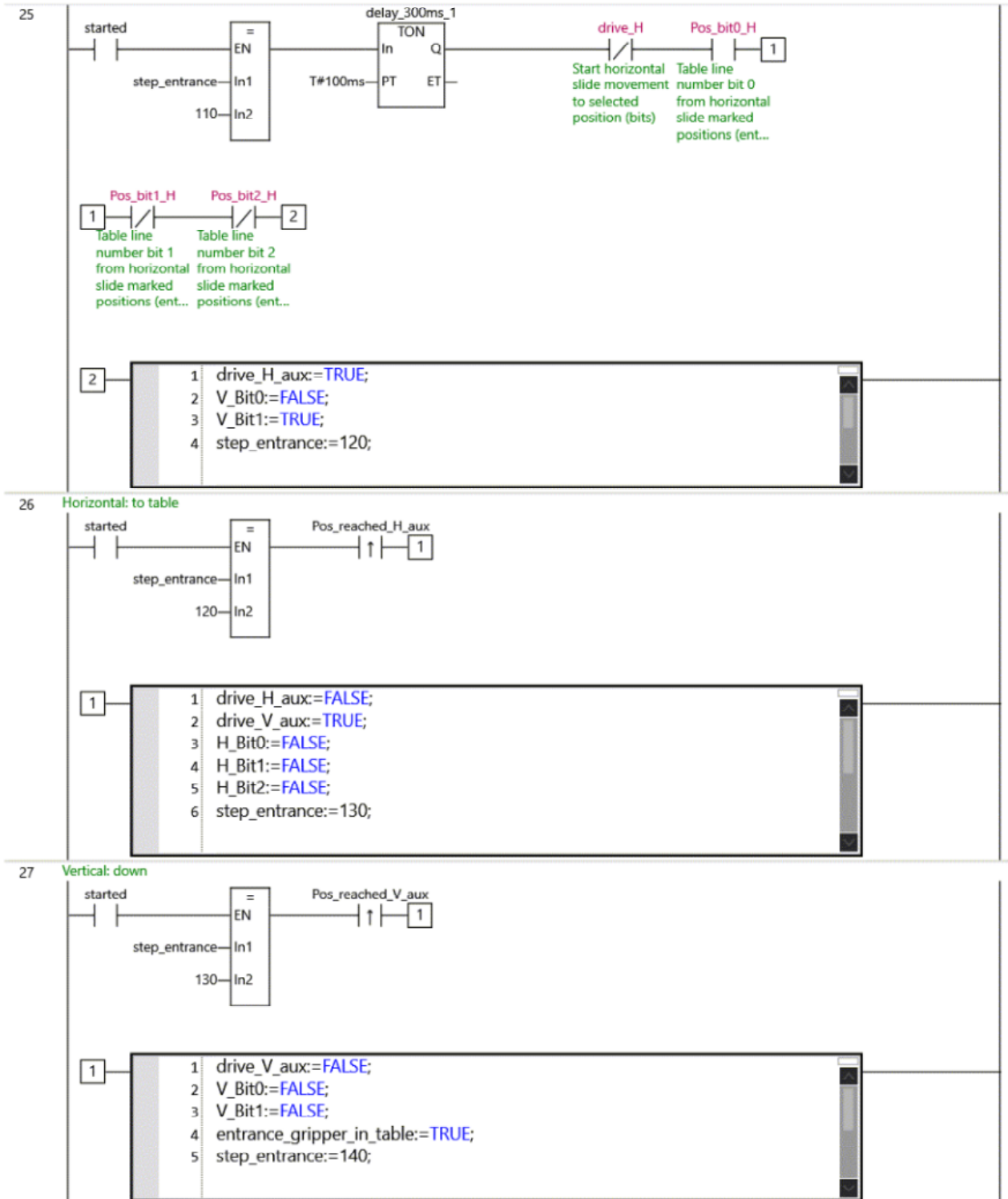
```
1 pos_home_H_aux:=FALSE;  
2 pos_home_V_aux:=TRUE;  
3 reset_alarms:=FALSE;  
4 step_entrance:=15;
```

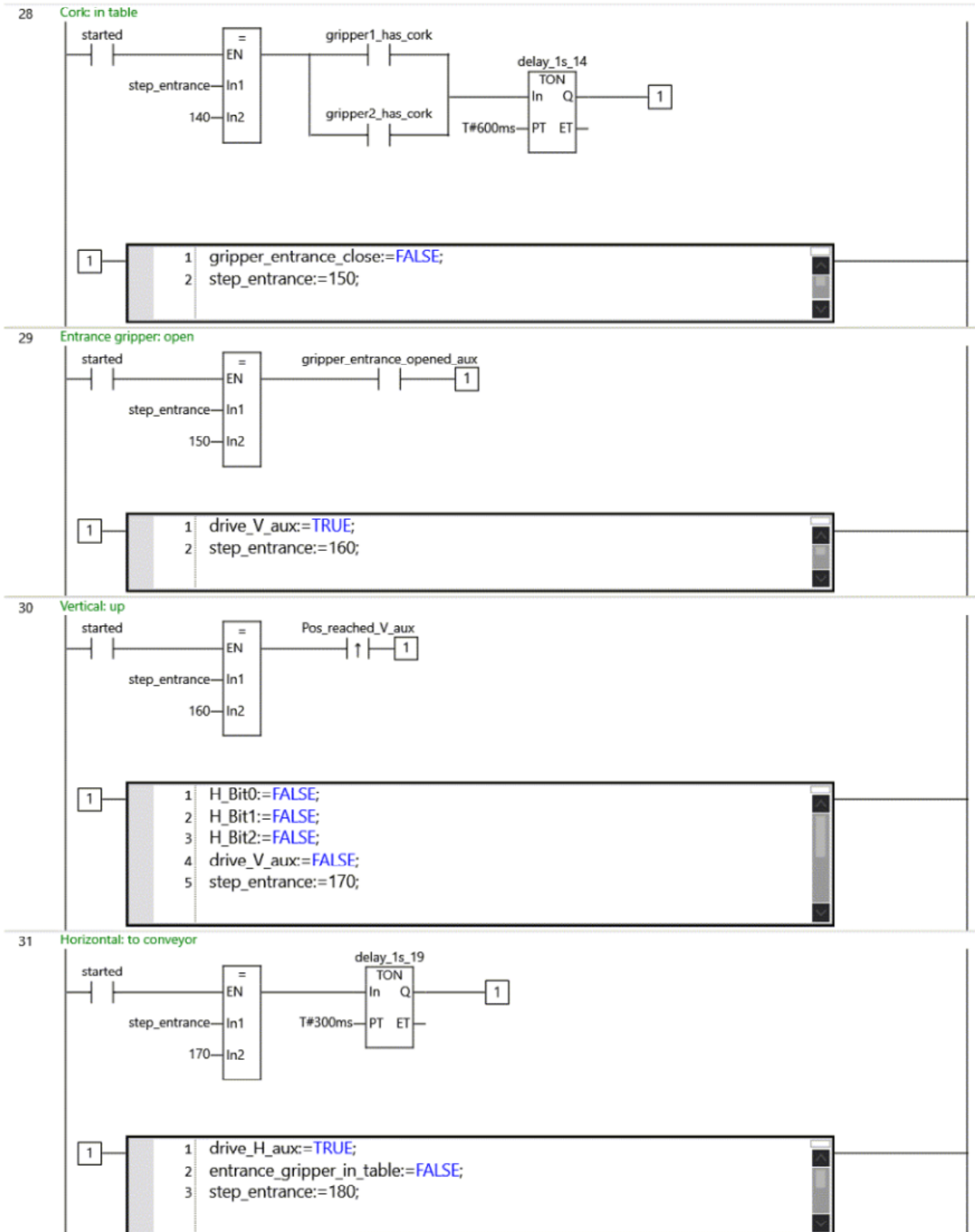


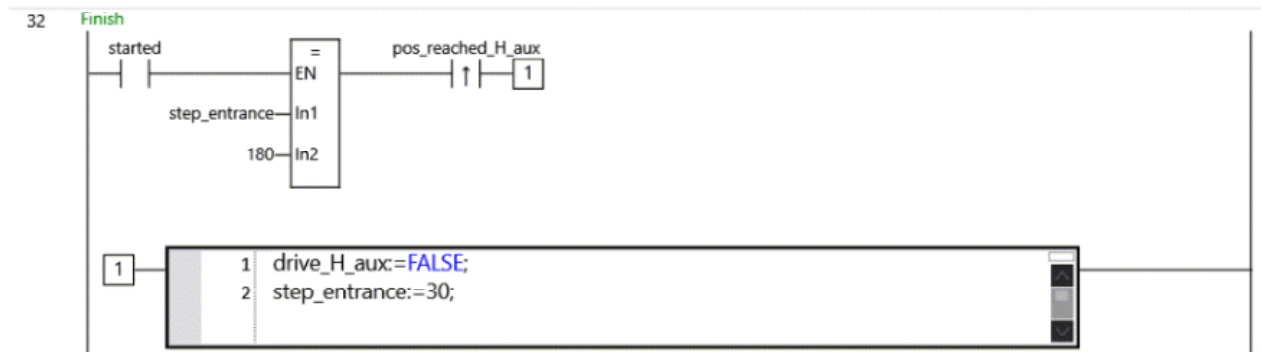


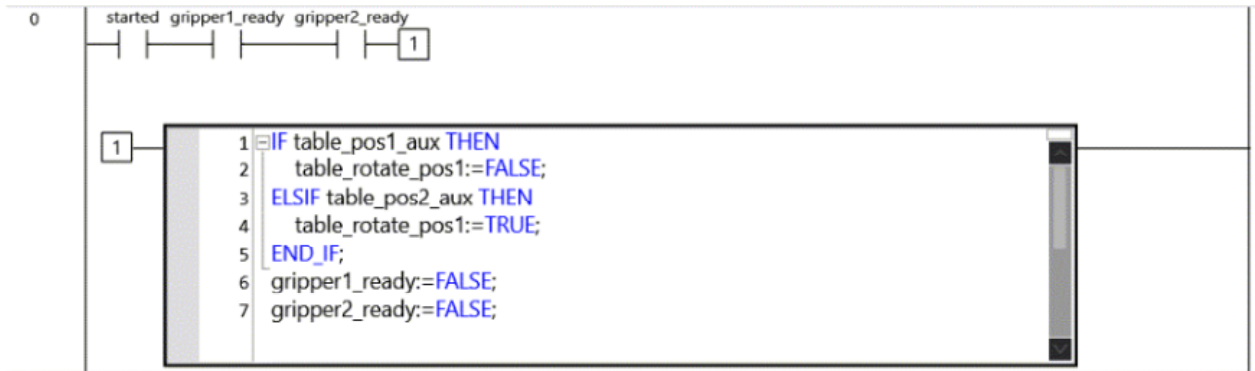


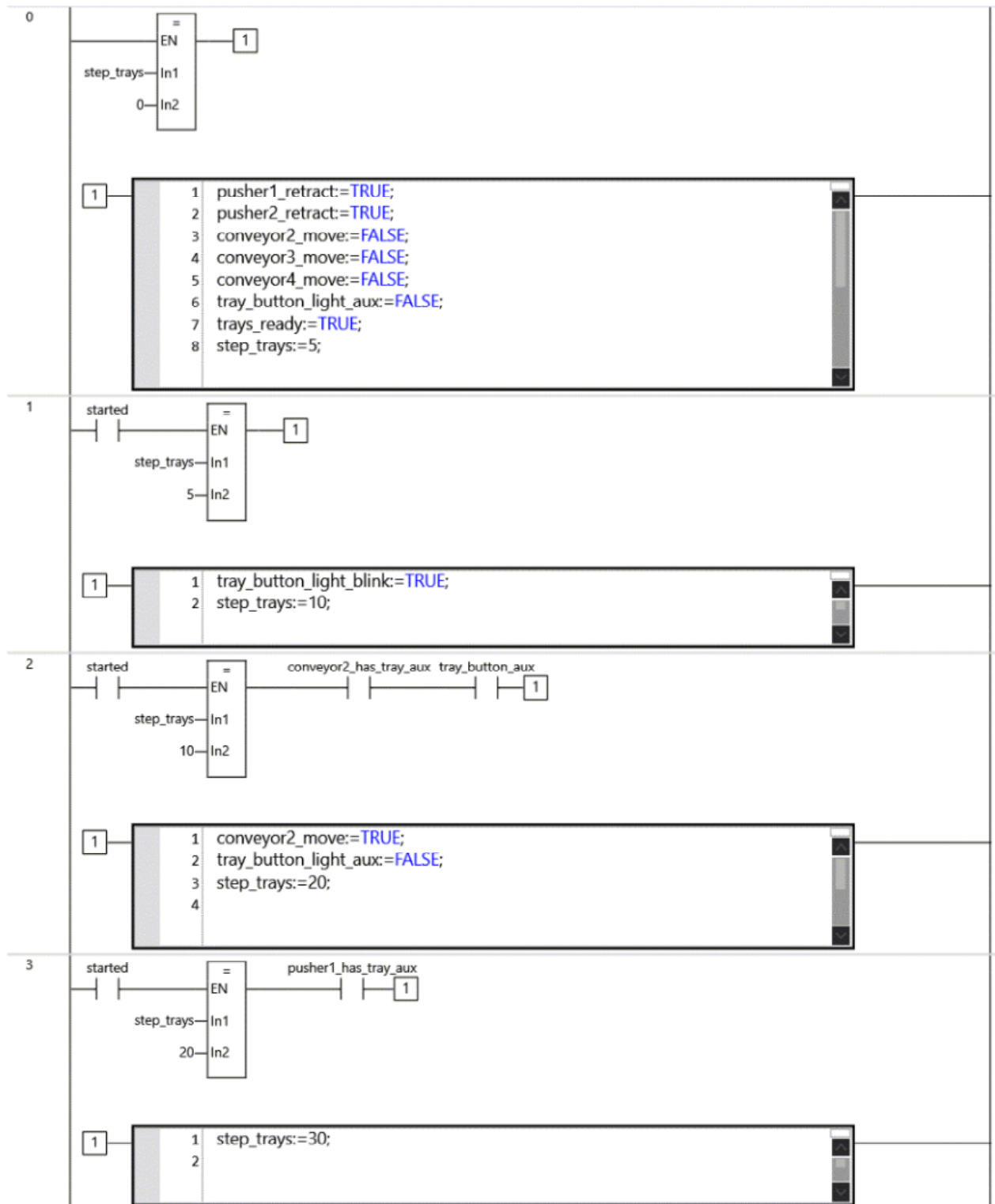


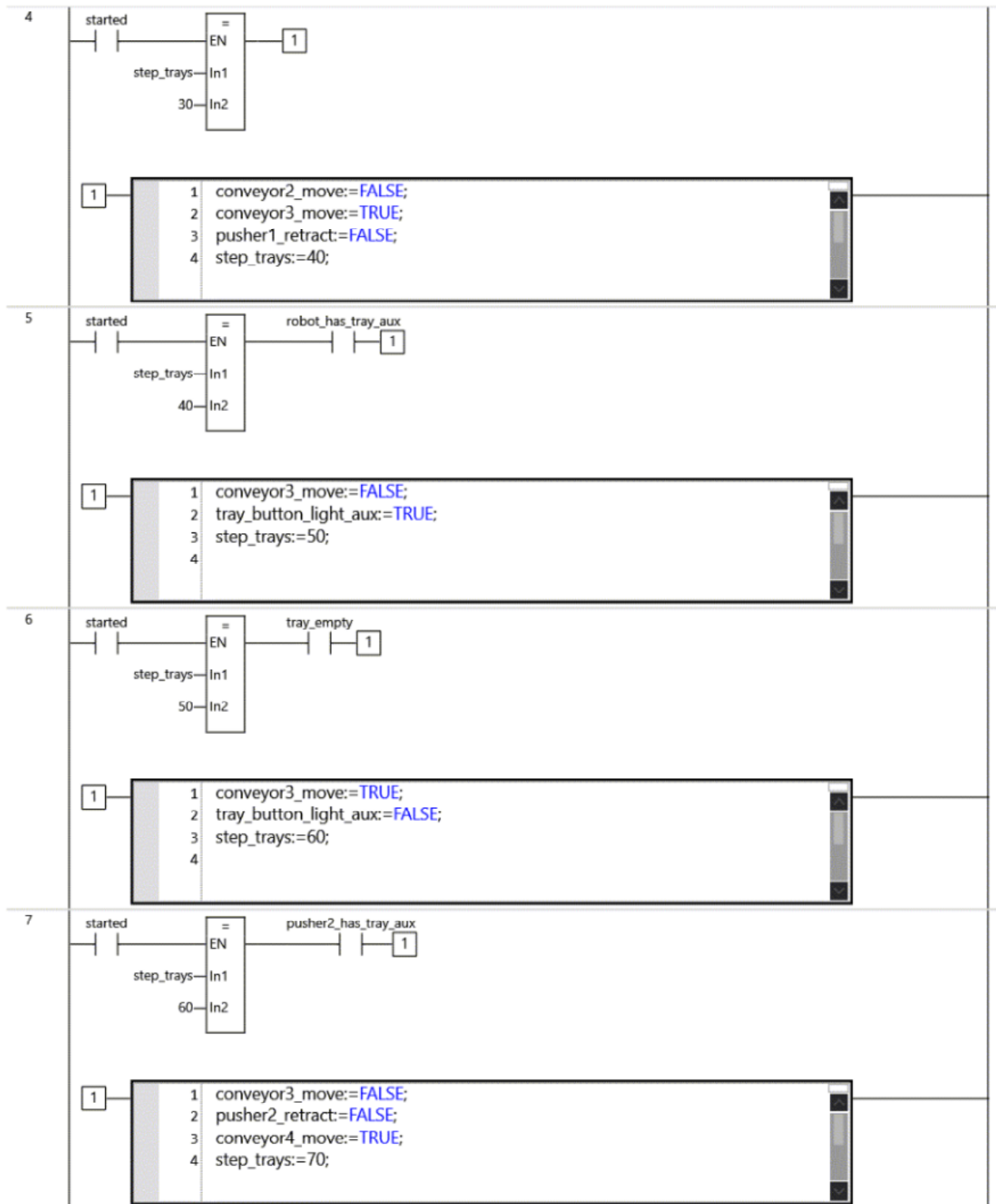


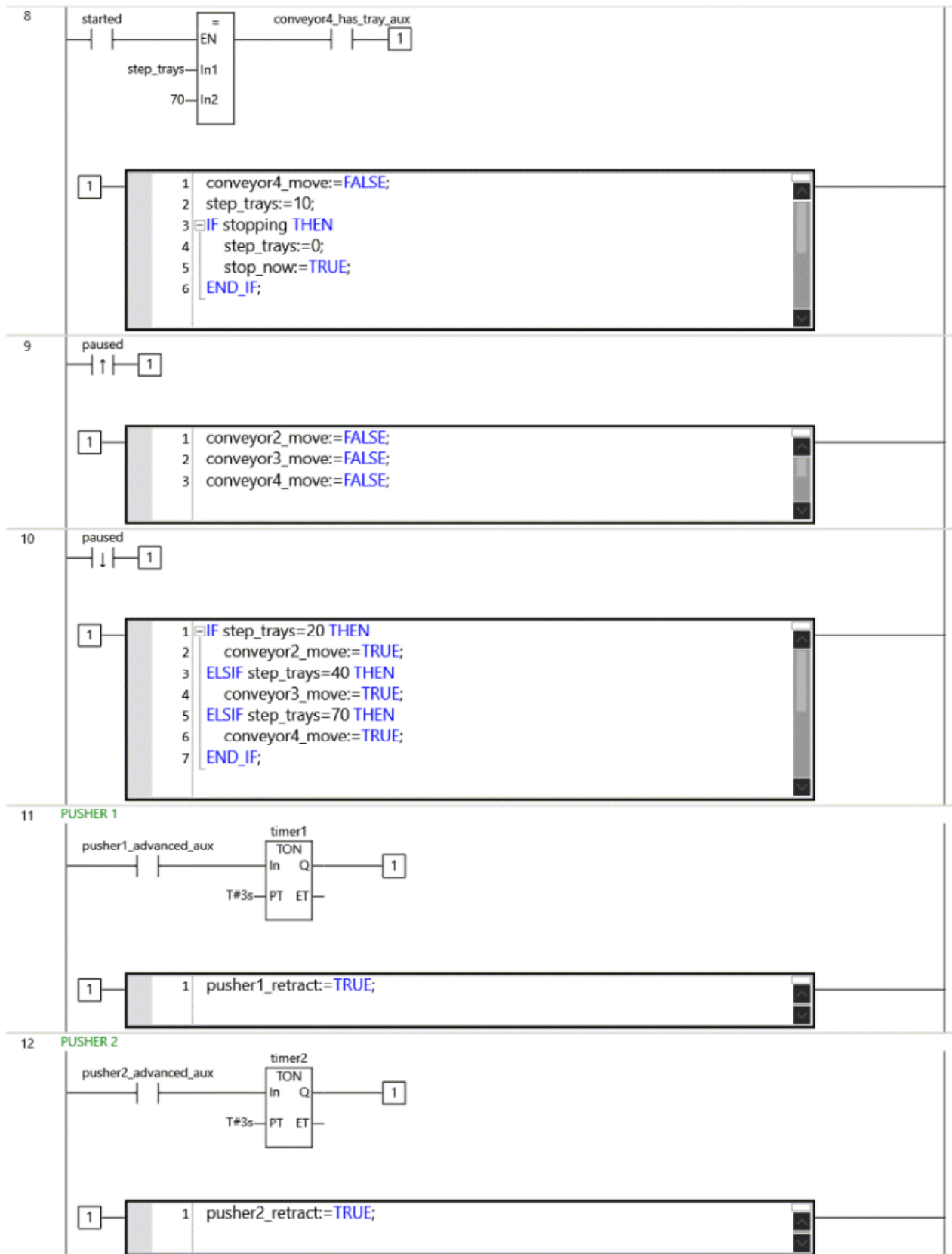


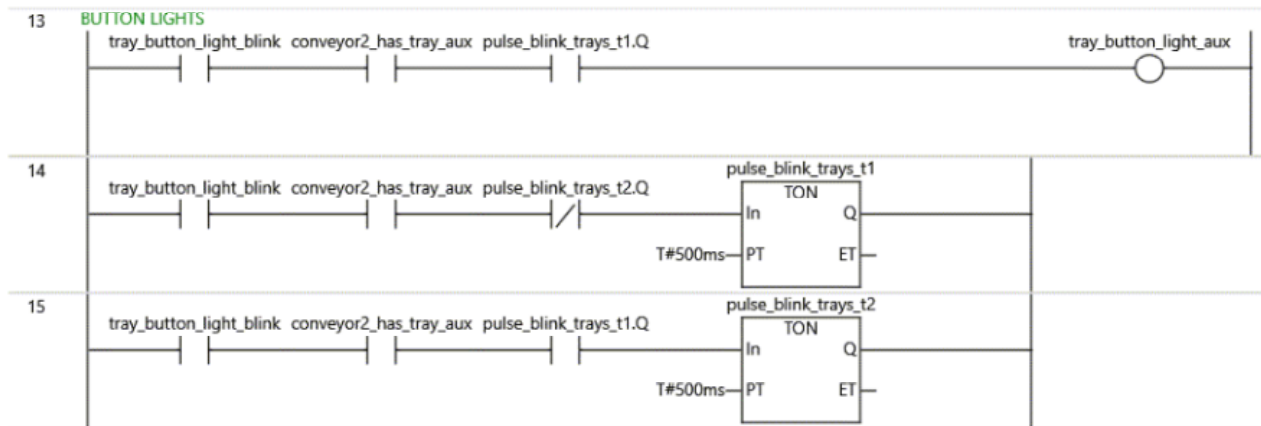


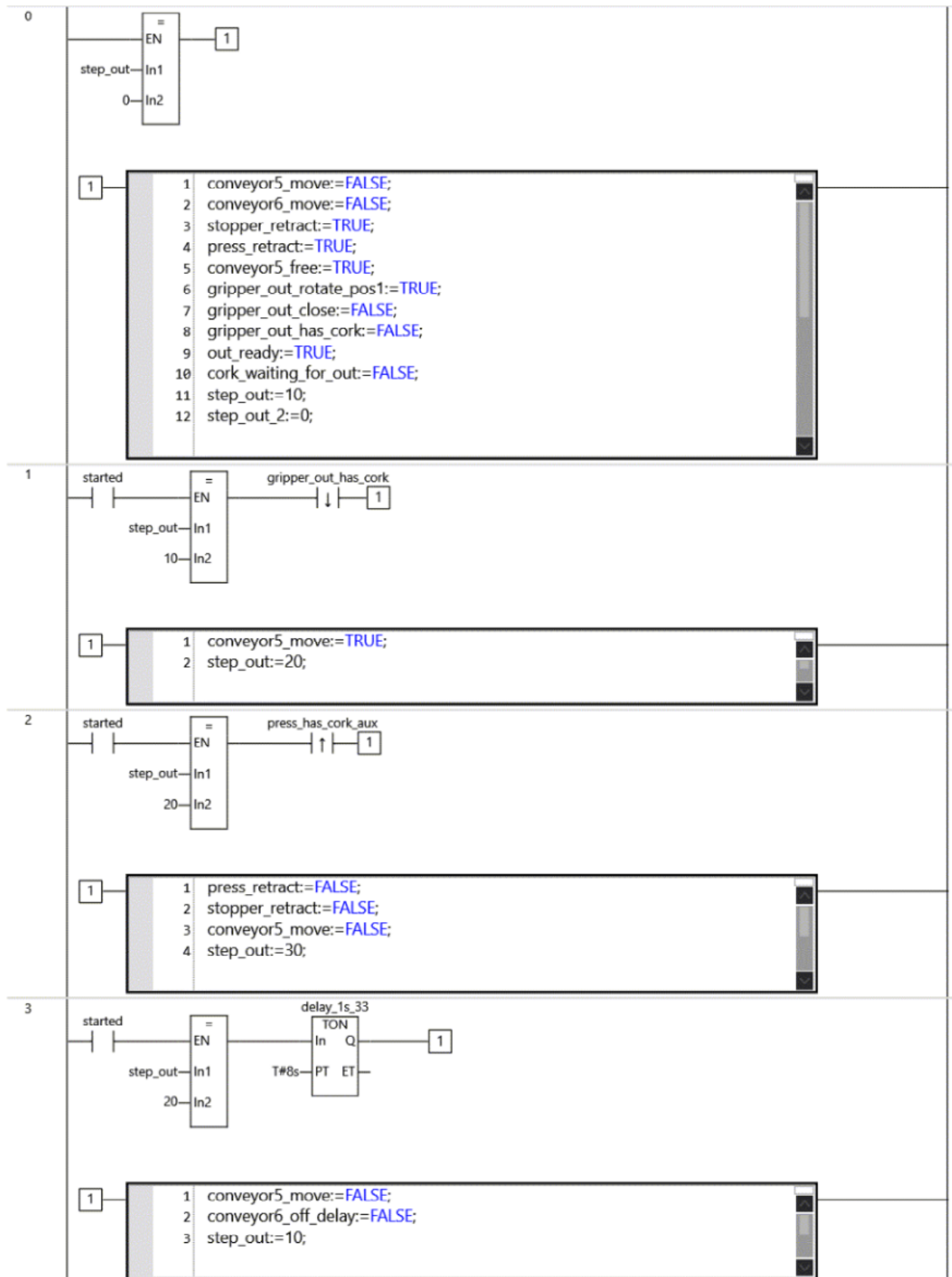
1-7-1-1-5.Table

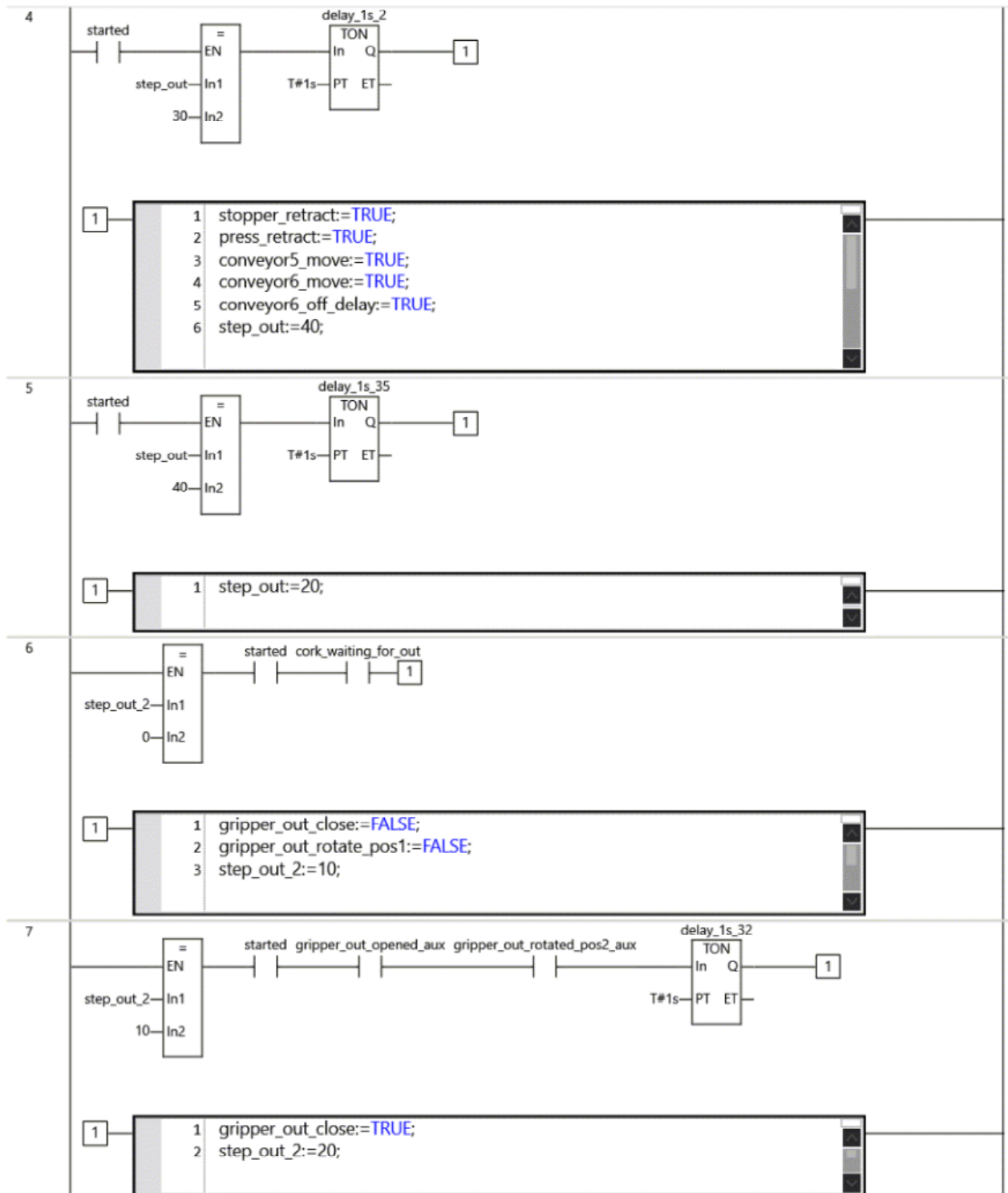
1-7-1-1-6.Trays

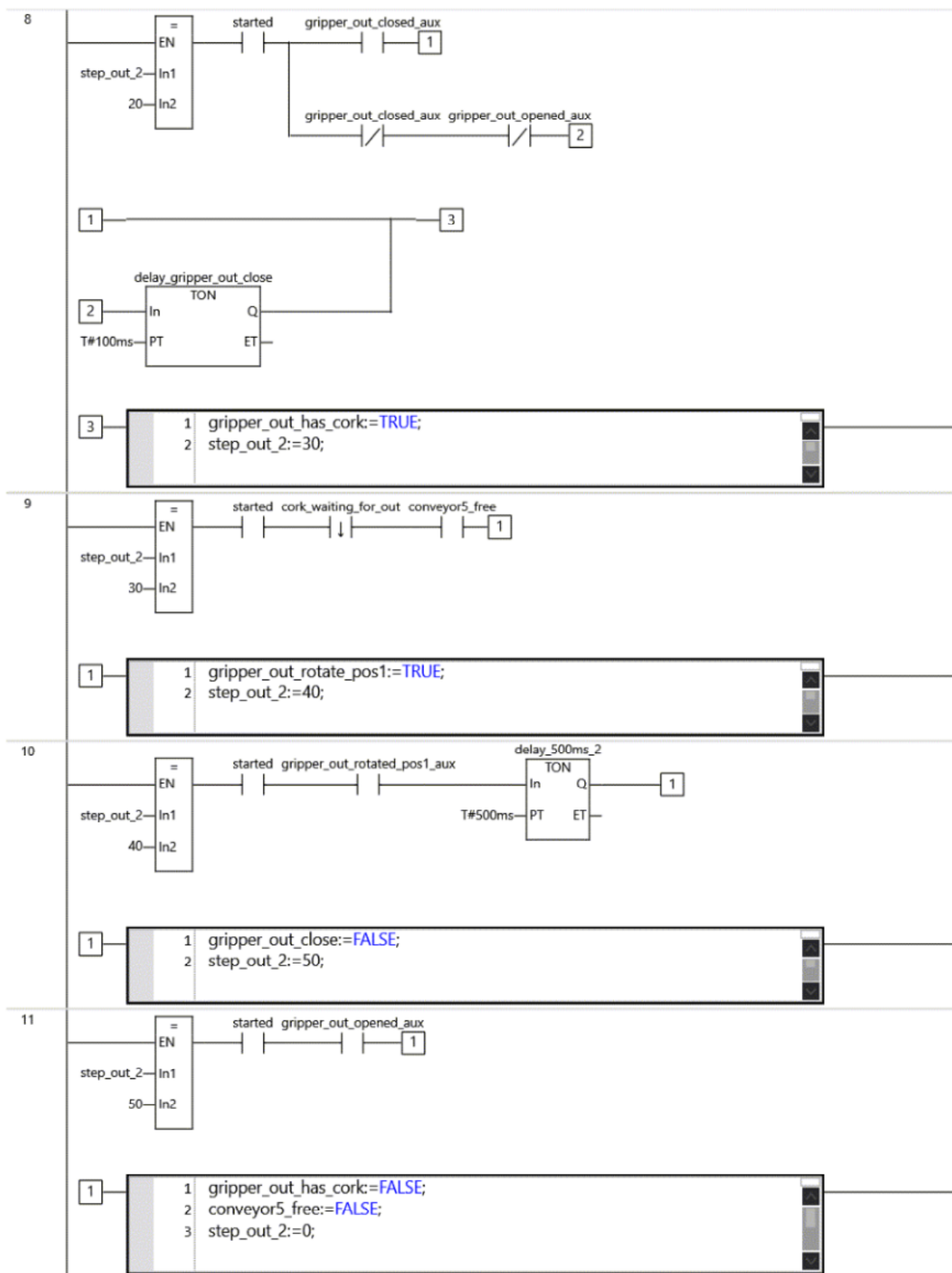


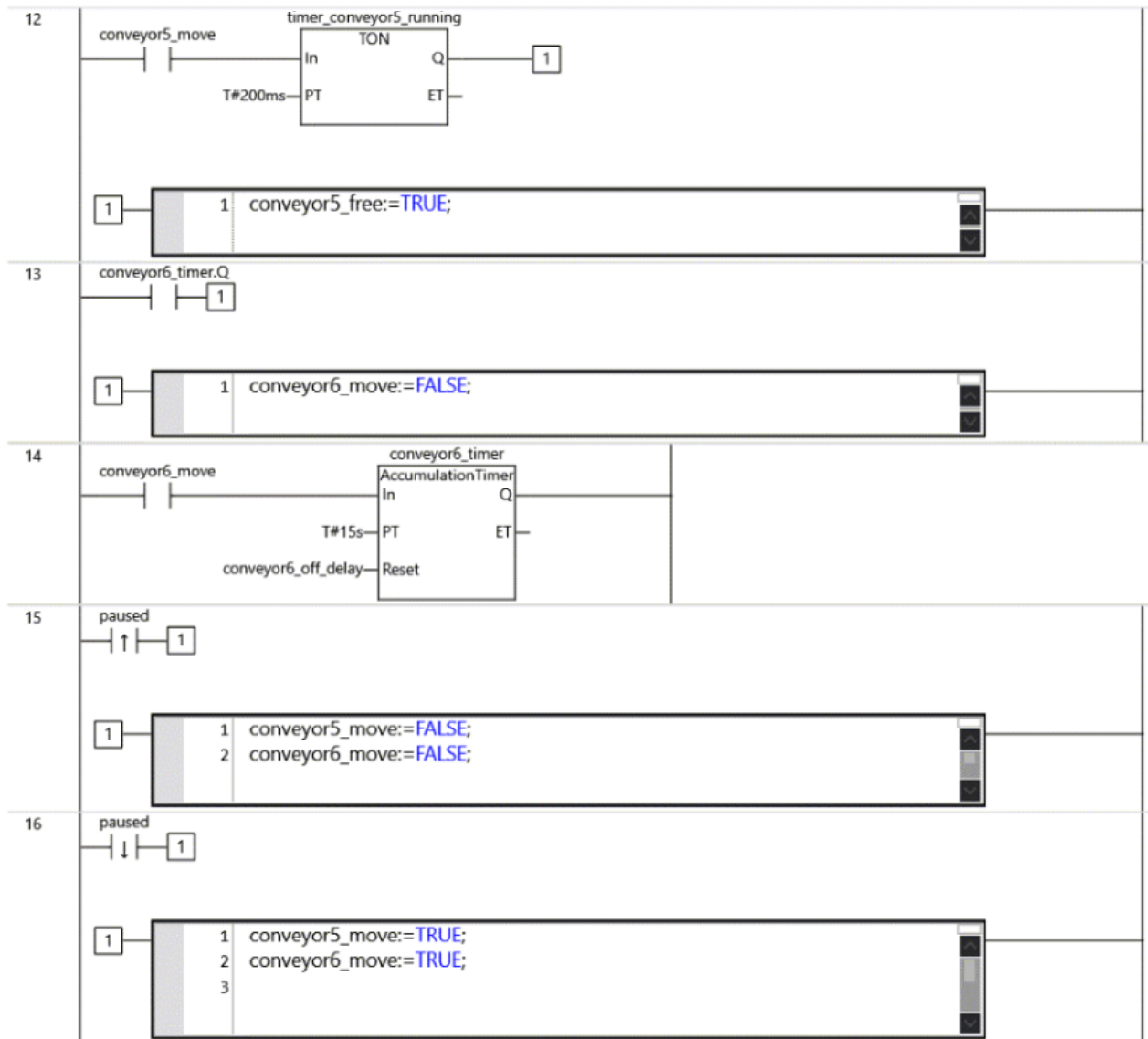


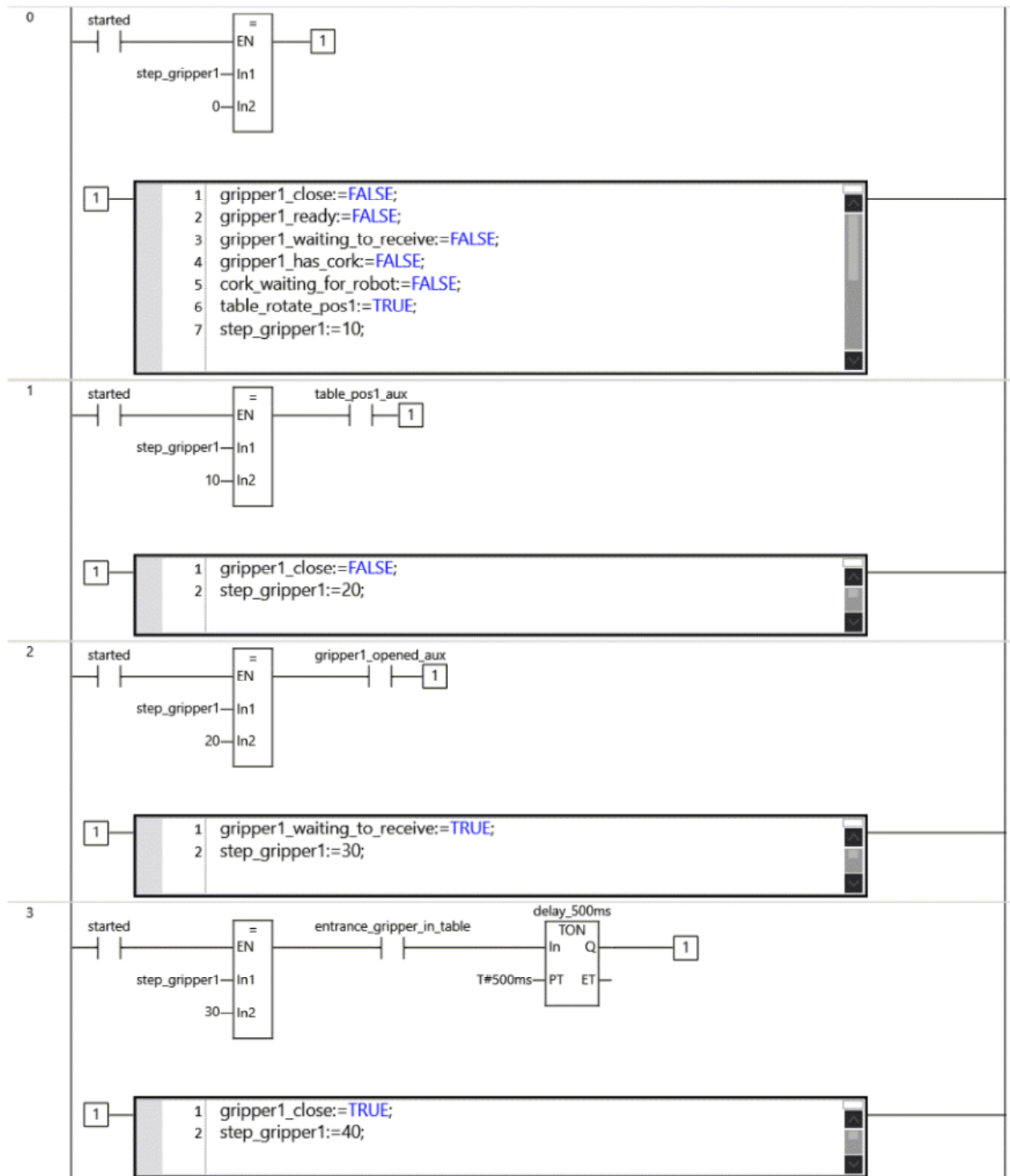


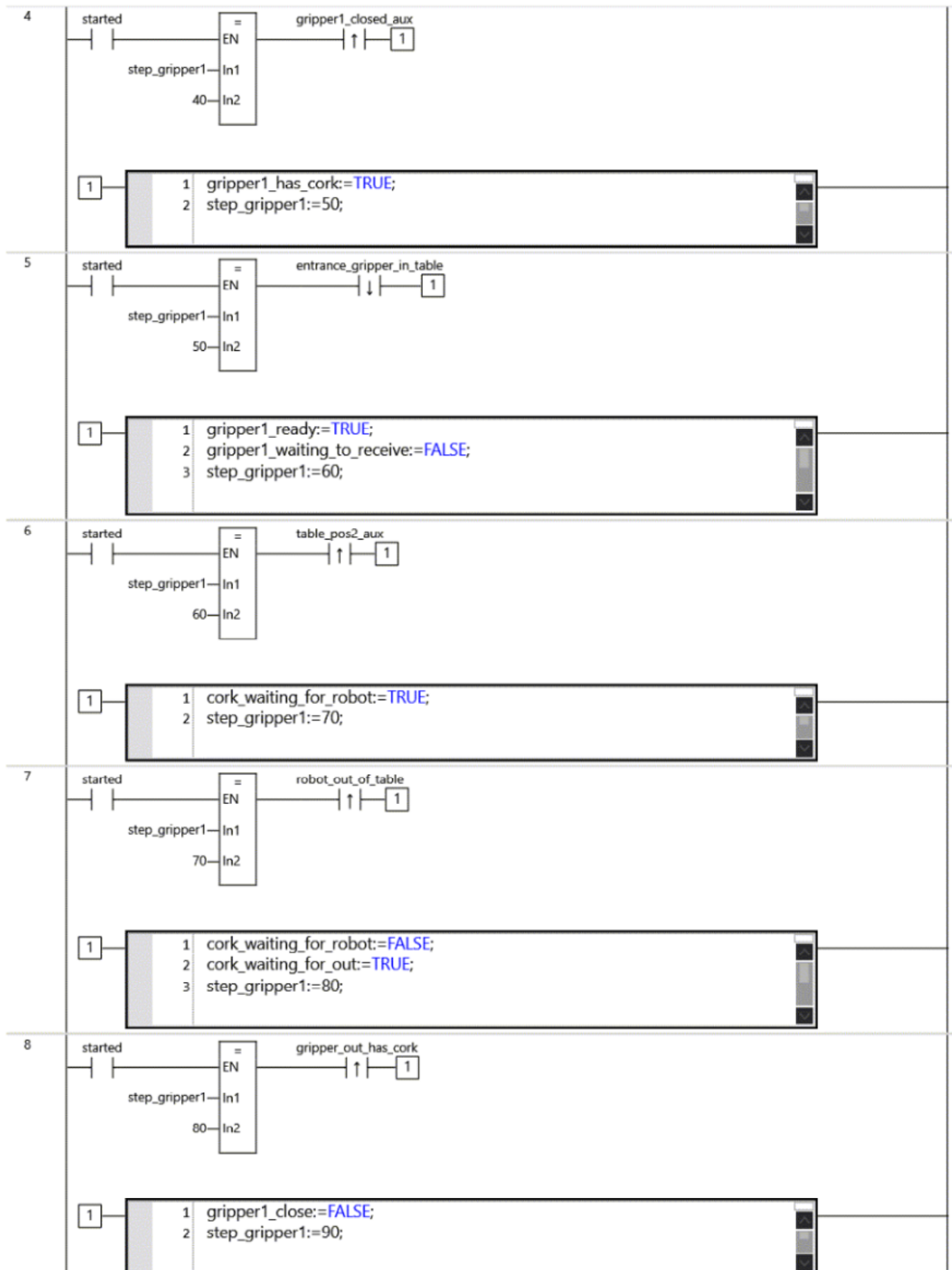
1-7-1-1-7.Out

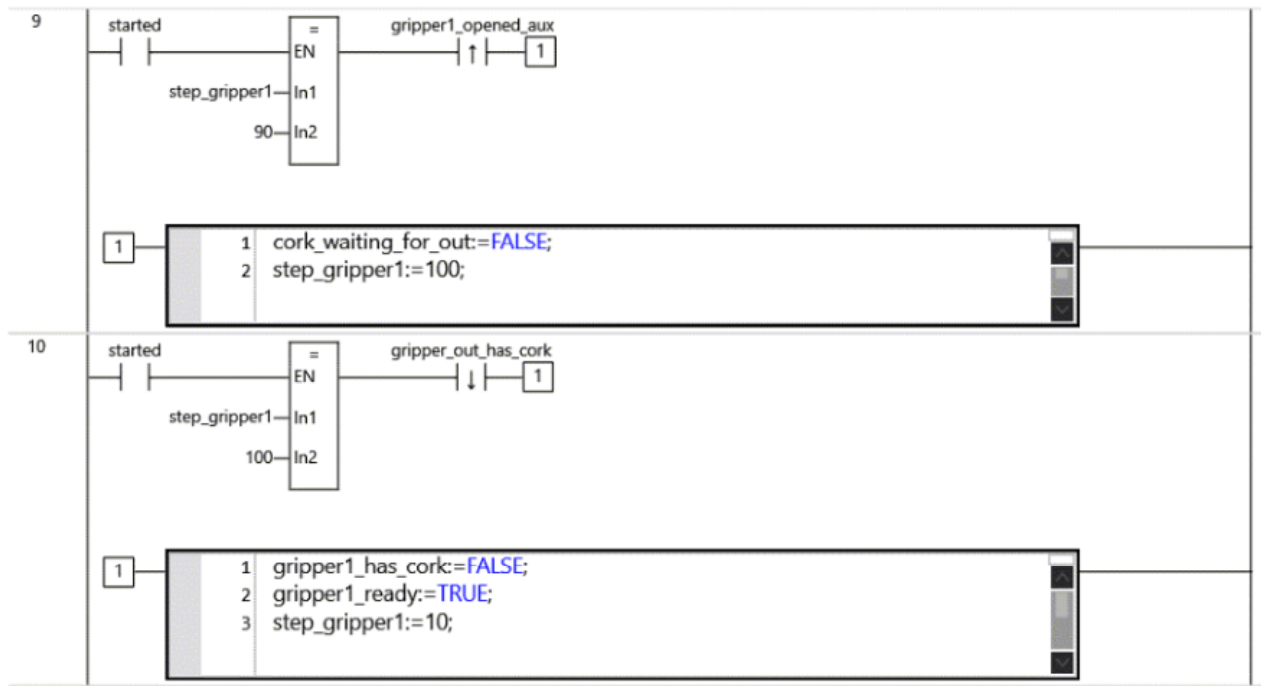


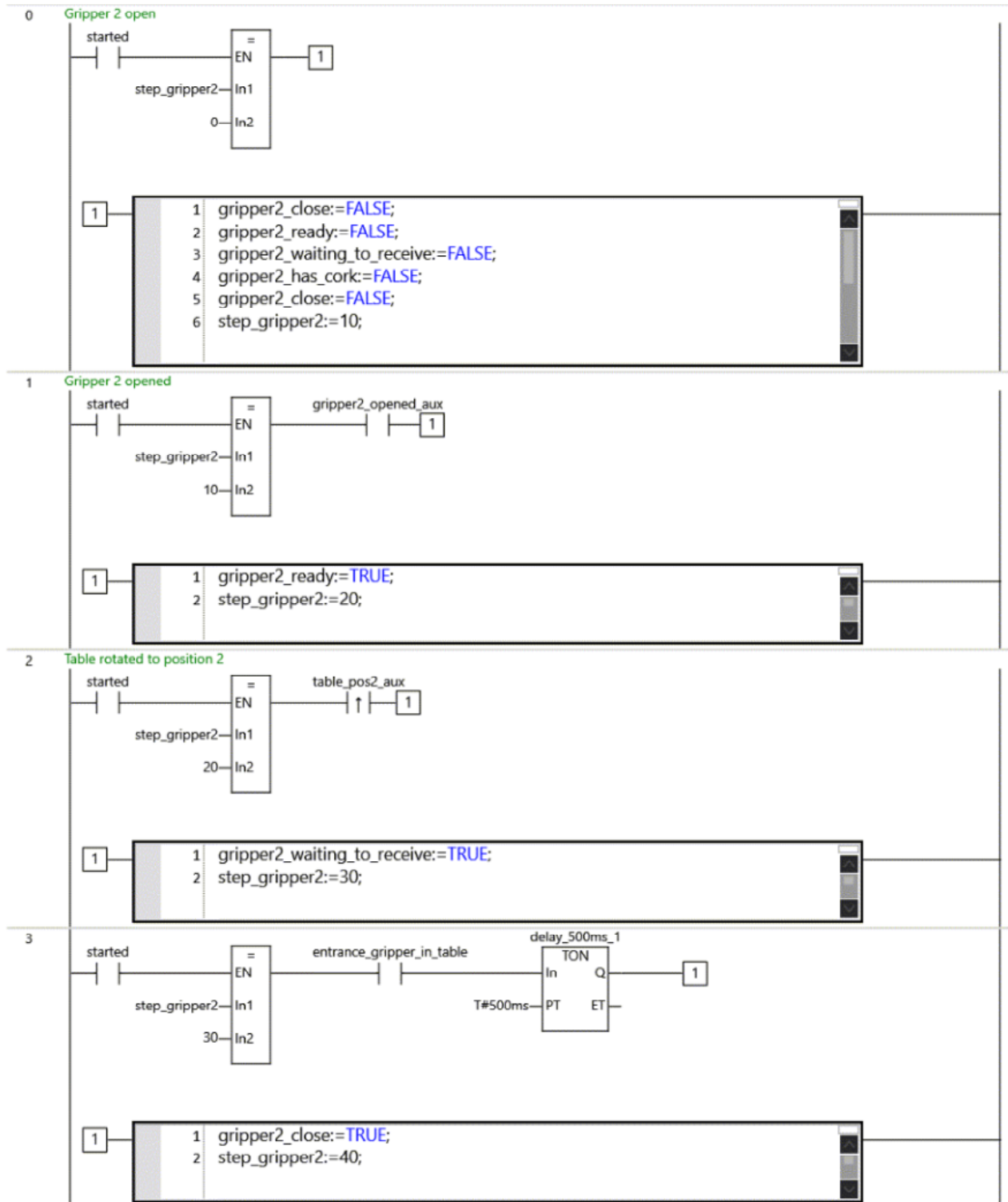


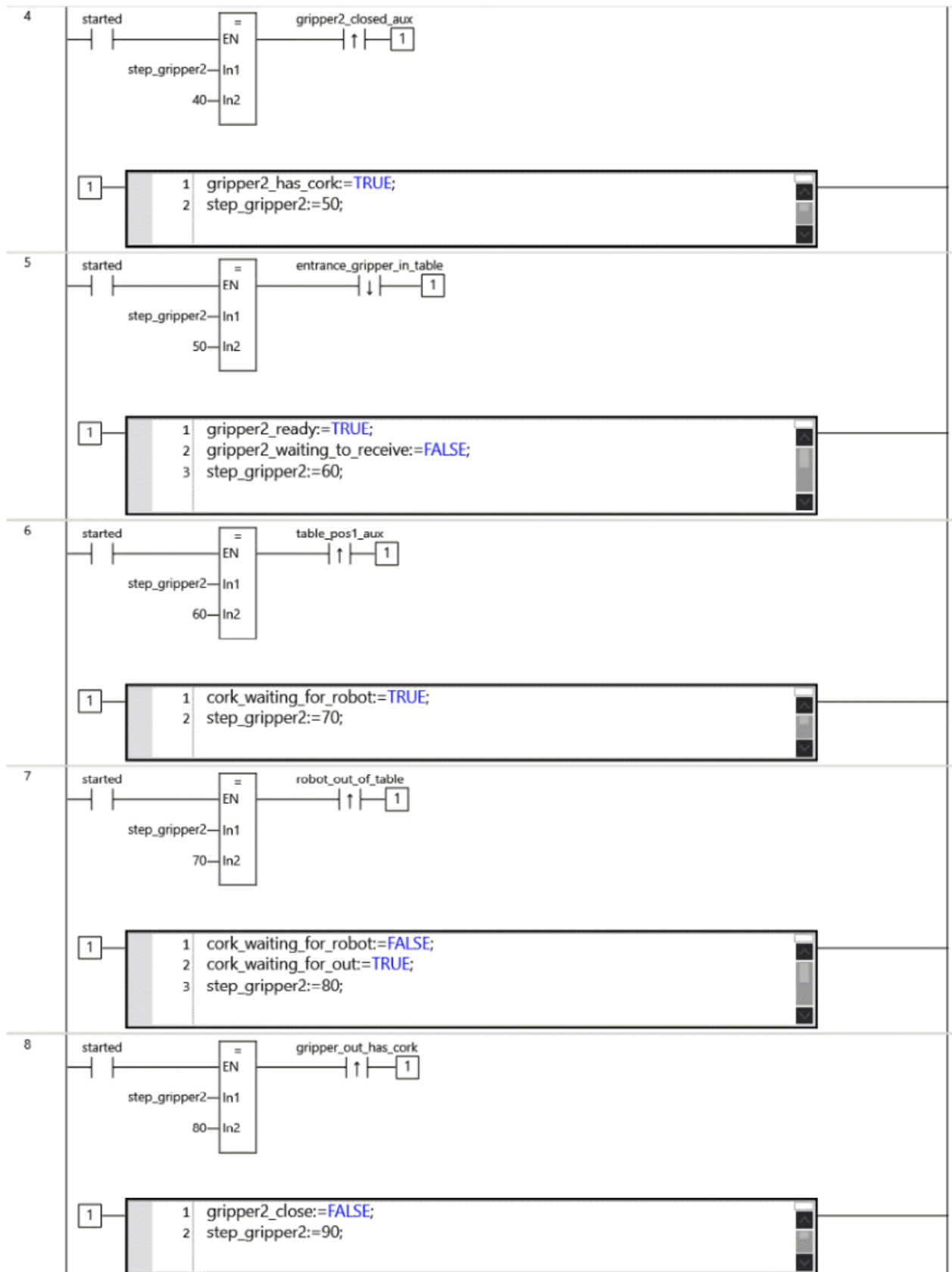


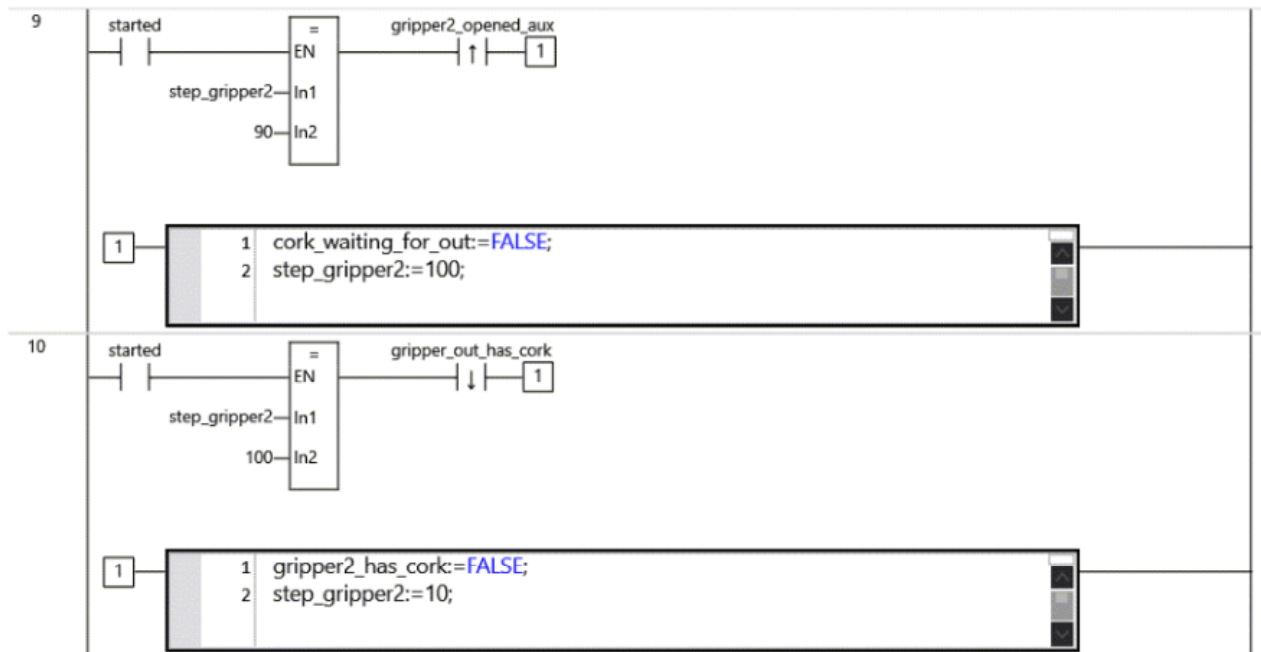
1-7-1-1-8.Gripper1

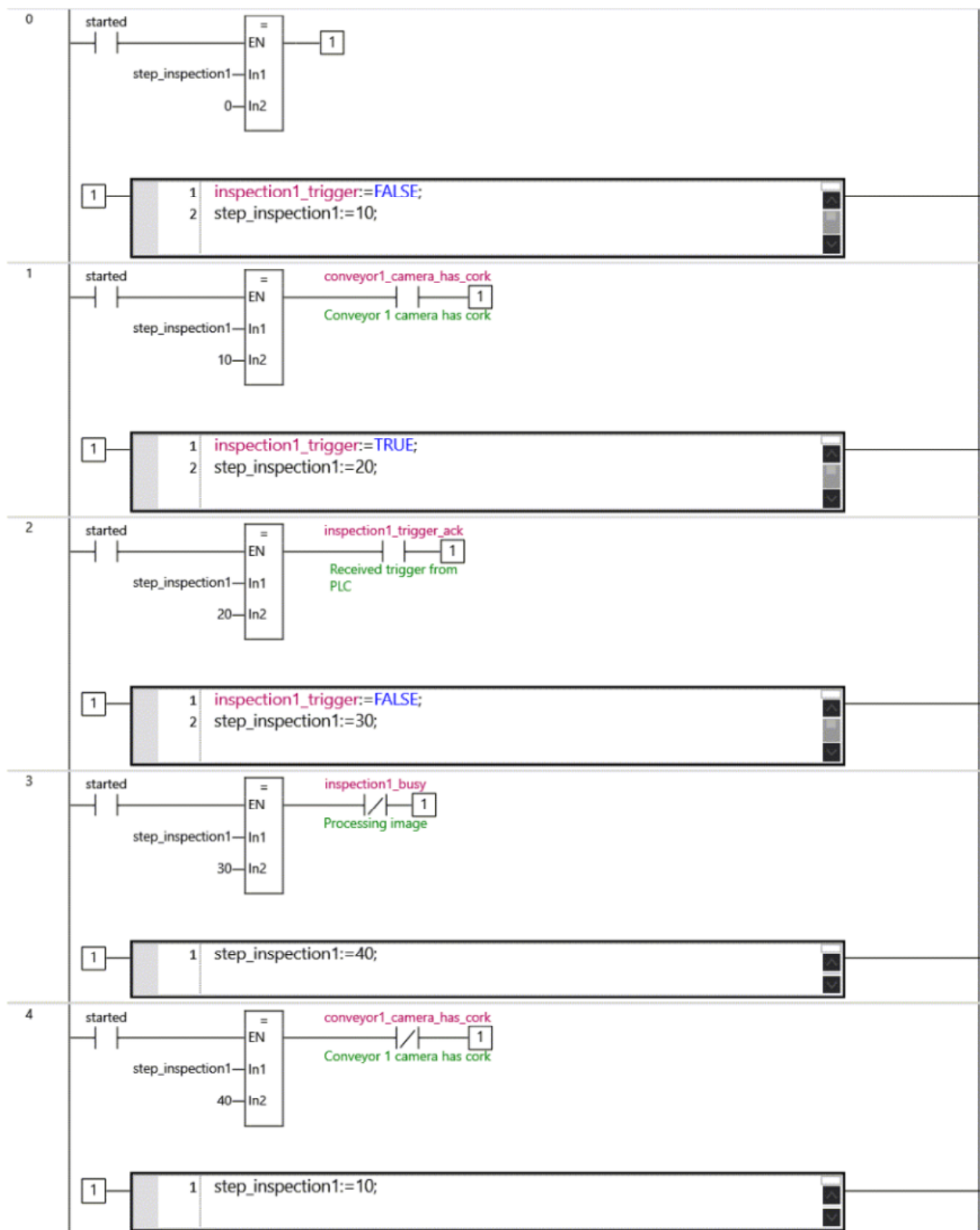




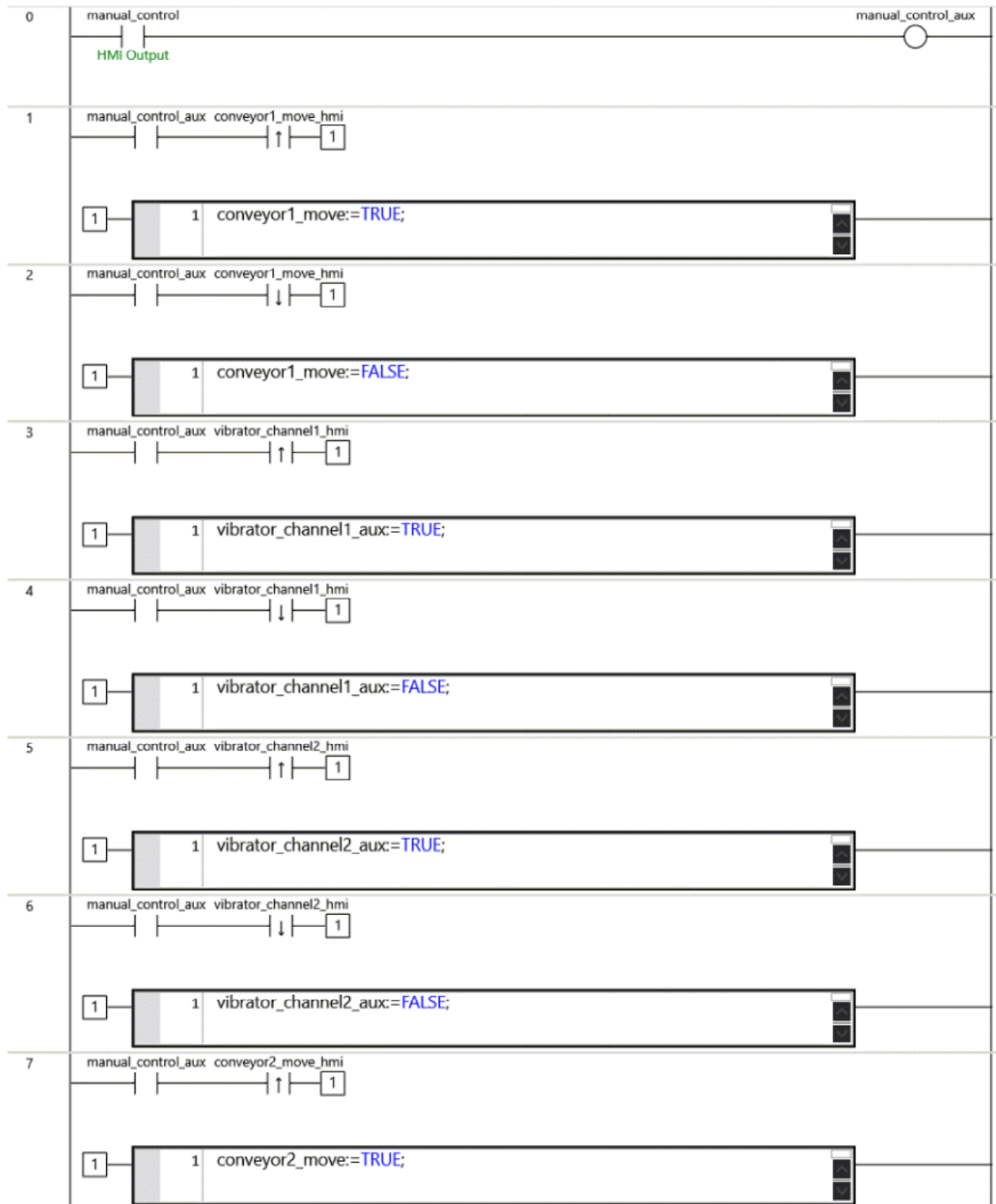
1-7-1-1-9.Gripper2

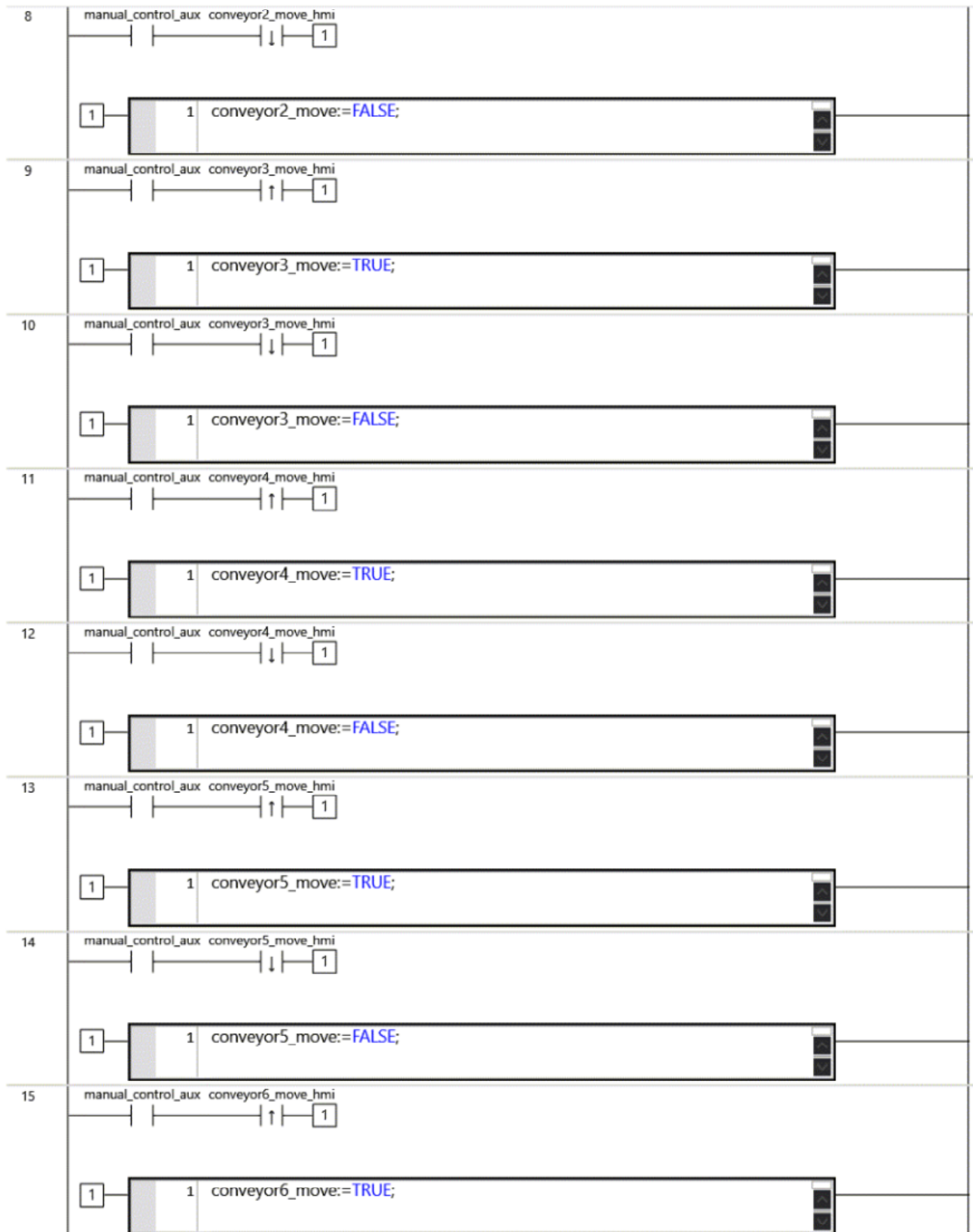




1-7-1-1-10.Inspection1

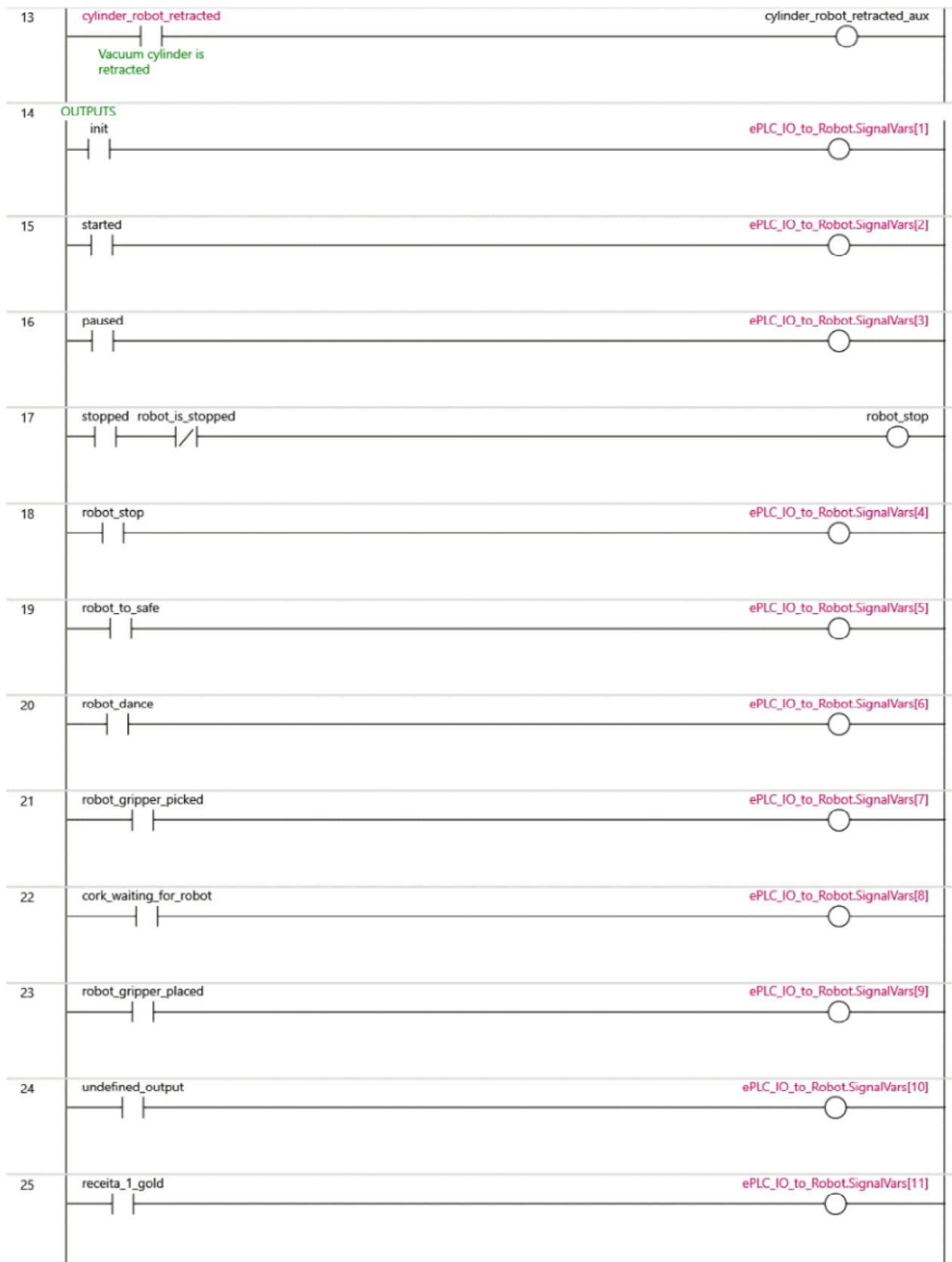
1-7-1-1-11.Main_IO

1-7-1-1-12.HMI_IO

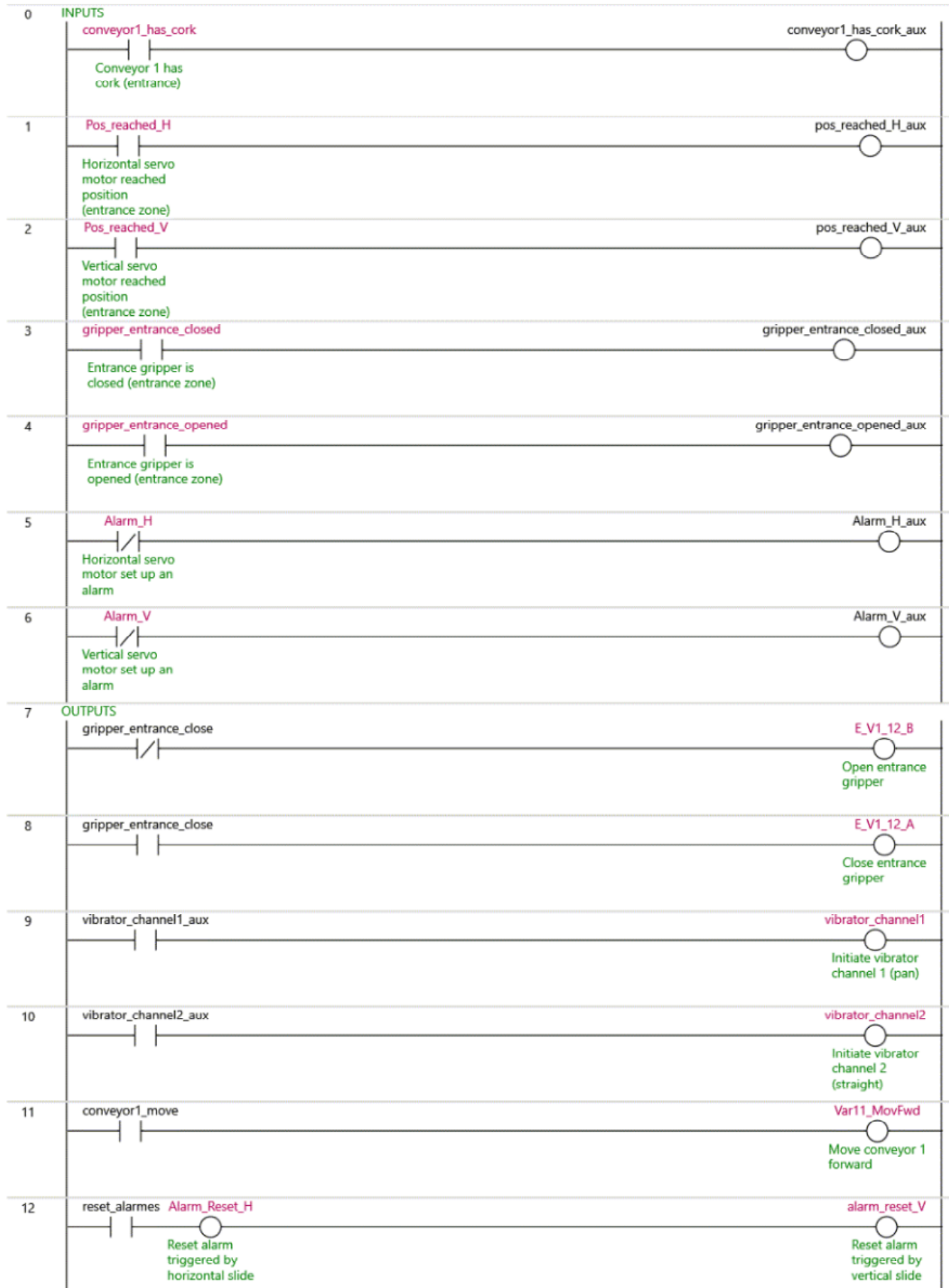


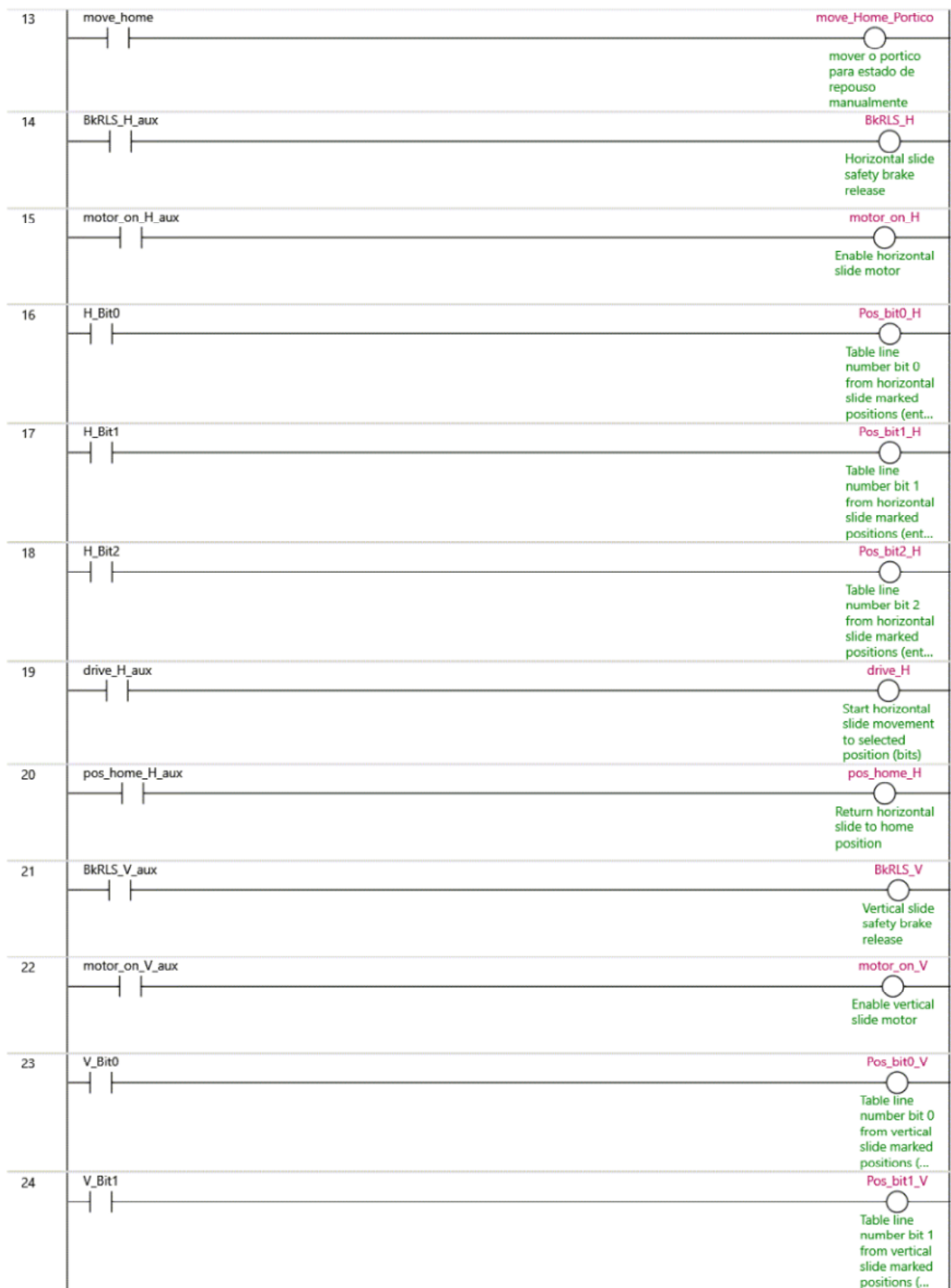


1-7-1-1-13.Robot_IO





1-7-1-1-14.Entrance_IO

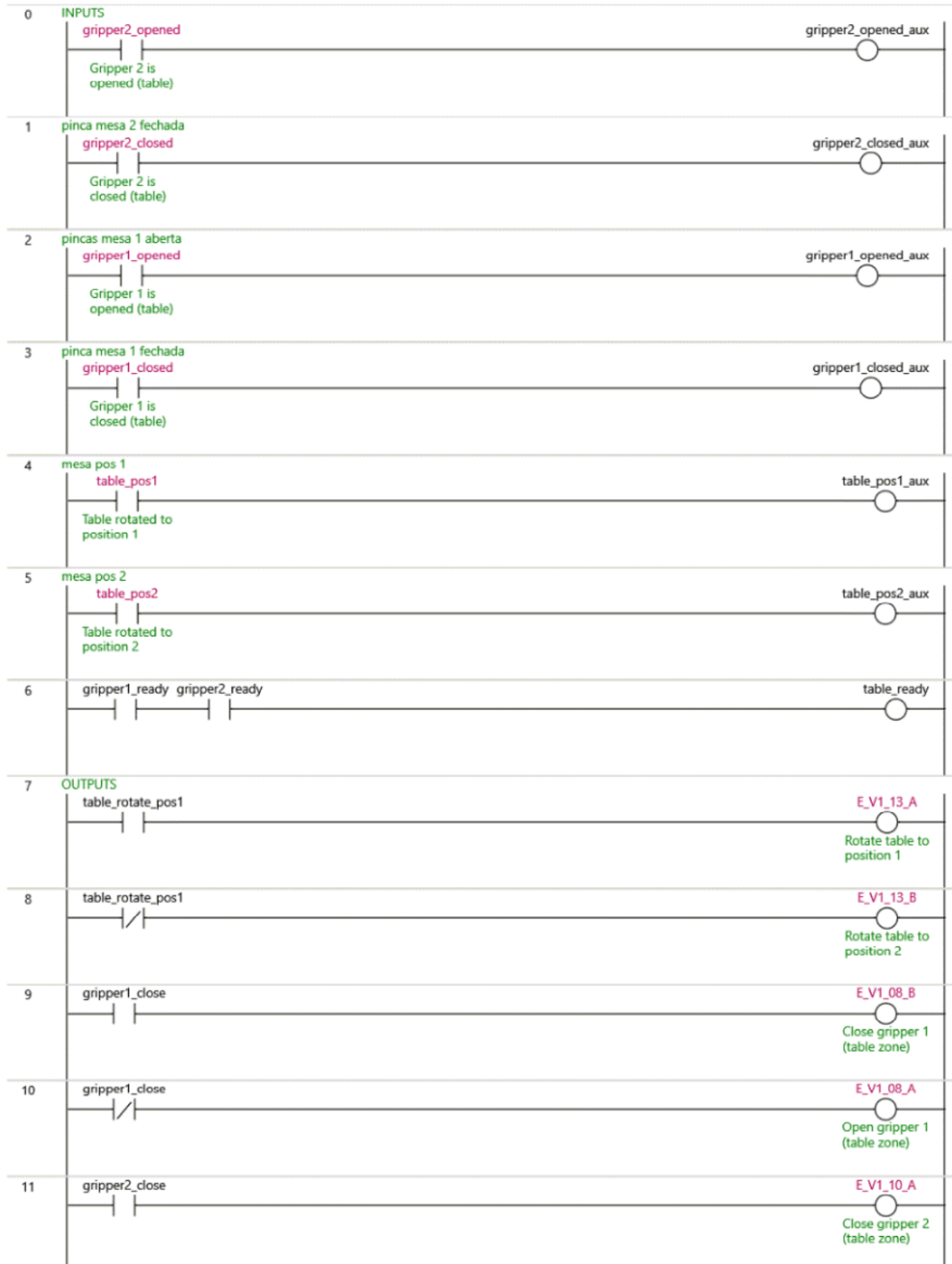


v3.37_2

new_Controller_0 Entrance_IO

CapsulatedCork Entrance_IO



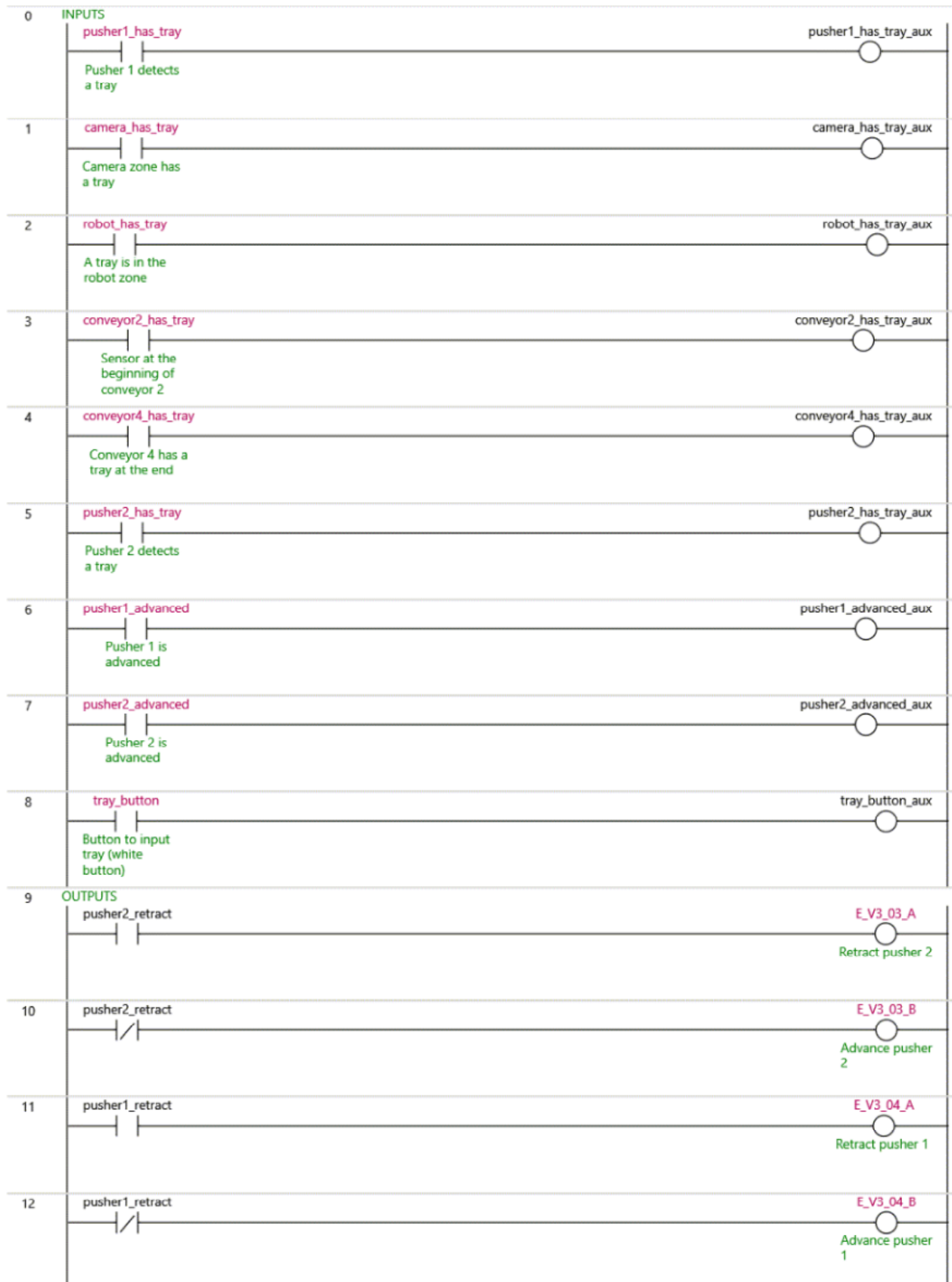
1-7-1-1-15.Table_IO

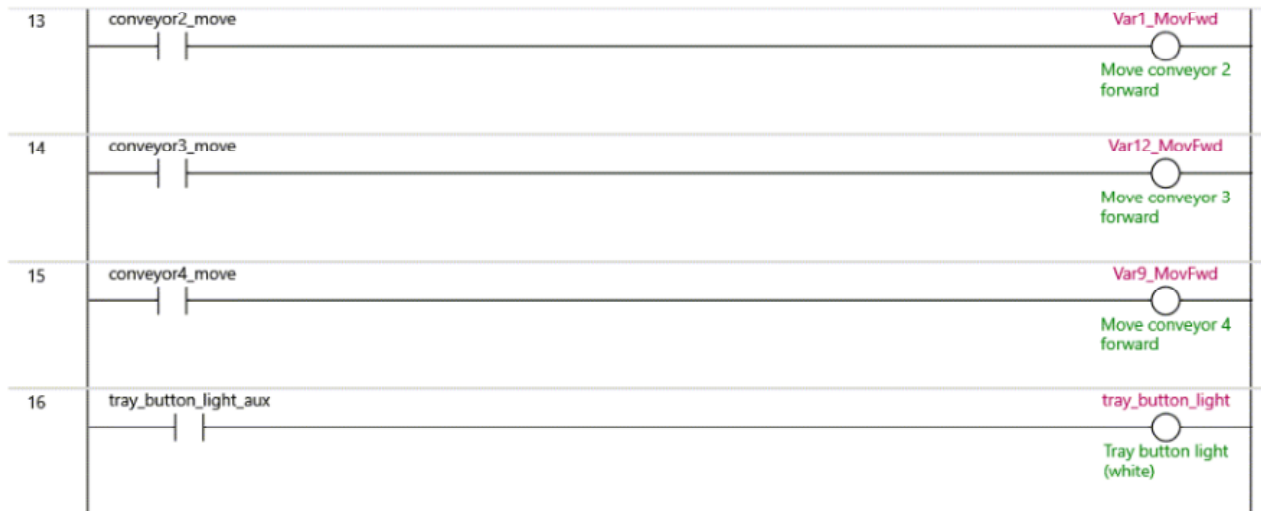
v3.37_2

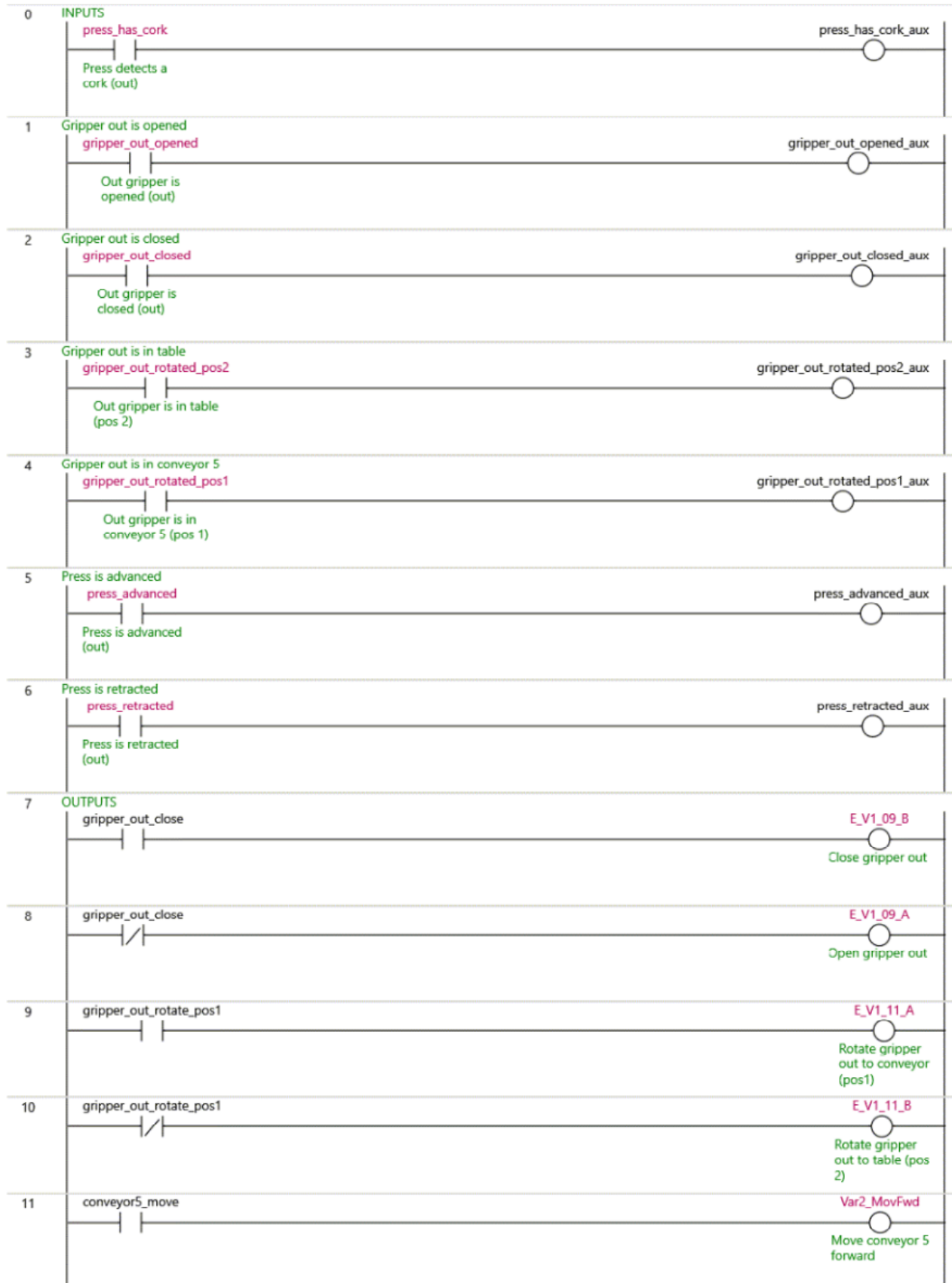
new_Controller_0 Table_IO

CapsulatedCork Table_IO

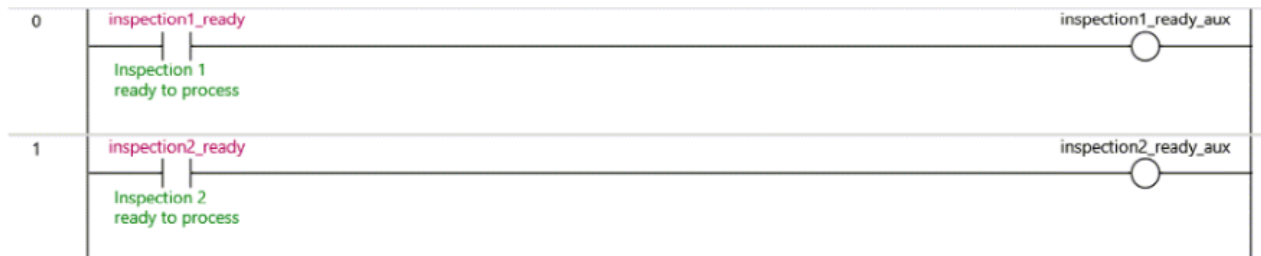


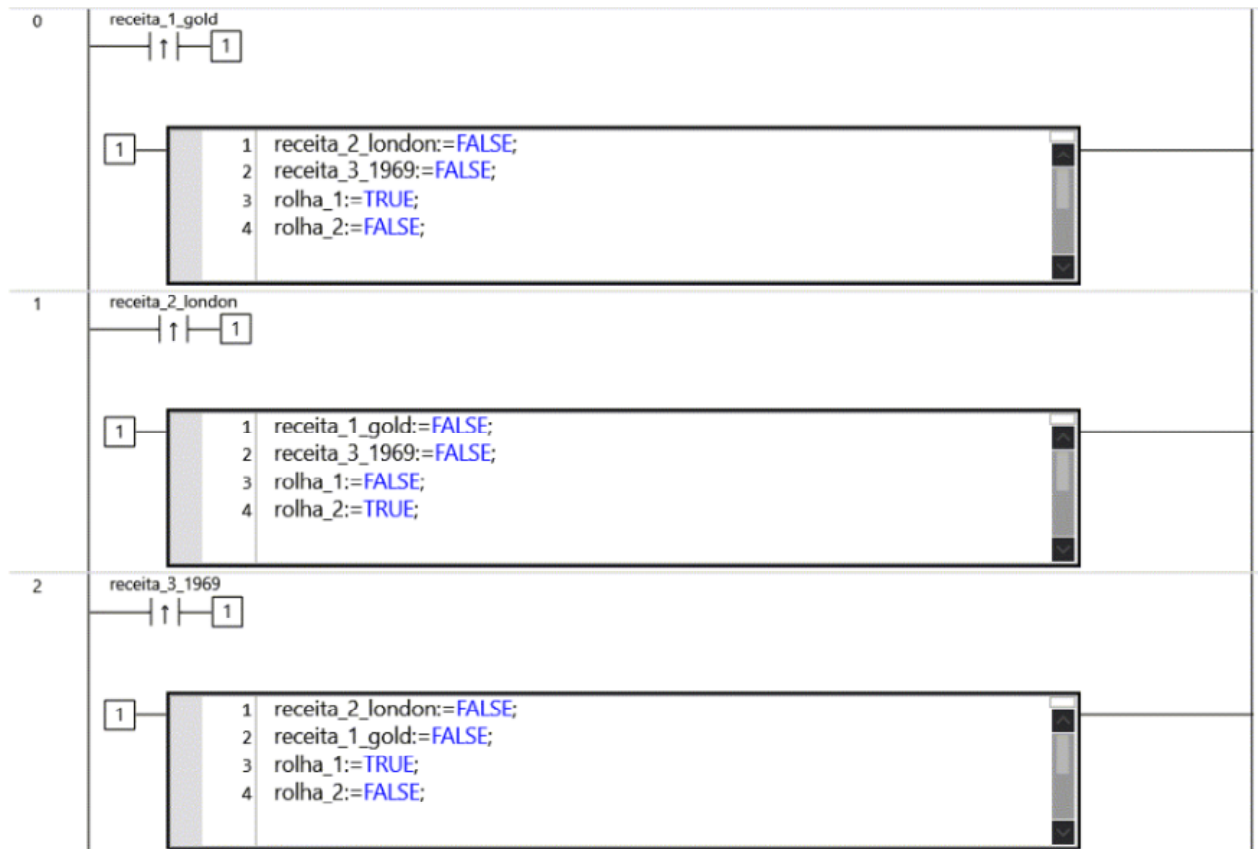
1-7-1-1-16.Trays_IO



1-7-1-1-17.Out_IO



1-7-1-1-18.Inspections_IO

1-7-1-1-19.Receitas

Referências

- [1] Plcs. Disponível em <http://www.plcs.net/contents.shtml>, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [2] Omron cp1h. Disponível em https://assets.omron.eu/images/cplh_prod-400x400.jpg, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [3] Omron sysmac cj series plc i/o module 16 inputs. Disponível em <https://in.rsdelivers.com/product/omron/cjlwid211/omron-sysmac-cj-series-plc-i-o-module-16-inputs-3/5125889>, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [4] Function block diagrams for programmable logic controllers. Disponível em <https://pdfs.semanticscholar.org/8f32/0bb0f7a902ca2a5a552e0562f4c1fe340b1e.pdf>, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [5] Hmi. Disponível em <http://comfiletech.com/new-products/cha-070wr-7-water-resistant-human-machine-interface-hmi/>, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [6] Stainless steel pneumatic actuator. Disponível em <https://www.indiamart.com/proddetail/pneumatic-actuator-17975689188.html>, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [7] Single-ended servo hydraulic actuators. Disponível em http://www.besmaklab.com/Products/133/Single-Ended_Servo_Hydraulic_Actuators/9, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [8] D4mc: Miniature enclosed limit switch. Disponível em http://www.netmotion.com/htm_files/mc_sensors_mini.htm, acessado a última vez em 25 de Abril de 2019.
- [9] Sensor indutivo de proximidade. Disponível em <https://www.eletrogate.com/sensor-indutivo-de-proximidade>, acessado a última vez em 25 de Abril de 2019.
- [10] Sensor capacitivo. Disponível em <https://pt.rs-online.com/web/p/sensores-de-proximidad-capacitivos/0459011/>, acessado a última vez em 25 de Abril de 2019.
- [11] Magnetic sensors gaining higher ground. Disponível em <https://www.fiercееlectronics.com/components/magnetic-sensors-gaining-higher-ground>, acessado a última vez em 25 de Abril de 2019.

- [12] Encoder rotativo com potenciômetro. Disponível em <http://www.directindustry.com/pt/fabricante-industrial/encoder-rotativo-com-potenciometro-138501.html>, acessado a última vez em 25 de Abril de 2019.
- [13] Potenciômetro monovolta. Disponível em <http://www.directindustry.com/pt/fabricante-industrial/potenciometro-monovolta-136888.html>, acessado a última vez em 25 de Abril de 2019.
- [14] What's the difference between absolute and incremental encoders? Disponível em <https://www.machinedesign.com/motion-control/what-s-difference-between-absolute-and-incremental-encoders>, acessado a última vez em 25 de Abril de 2019.
- [15] Rolhas capsuladas. Disponível em <http://www.xyloone.pt/produtos.php?cat=12>, acessado a última vez em 10 de Dezembro de 2018.
- [16] Cap-100 equipamento de capsular rolhas. Disponível em <http://www.azevedosindustria.com/download.php?f=download%2F080502163501.pdf&key=935825cd581775fc12f1036eabd16078>, acessado a última vez em 3 de Junho de 2019.
- [17] Camex - machine for the production of wirehoods gatim 40-fb-evo. Disponível em <http://www.camex.eu/en/machine-production-free-belt-wirehoods-cork-stoppers/>, acessado a última vez em 4 de Junho de 2019.
- [18] Medcork / medcap. Disponível em <https://www.egitron.pt/client/files/0000000001/153.pdf>, acessado a última vez em 25 de Abril de 2019.
- [19] Omron nb10w-tw01b. Disponível em <https://www.nexinstrument.com/NB10W-TW01B>, acessado a última vez em 25 de Abril de 2019.
- [20] A. L. Maitelli. *Controladores Lógicos Programáveis*. Apostila, Primeira edição, 2001.
- [21] Fábio Soares de Lima. *A Automação e sua evolução*. Campus Universitário - Lagoa Nova, Primeira edição, 2003.
- [22] Deborah Vieira de Alencar Maia. *Automação Industrial e Robótica*. Campus Universitário - Lagoa Nova, Primeira edição, 2001.
- [23] Kenneth B. Rexford e Peter R. Giuliani. *Electrical control for machines*. Cengage Learning, Sexta edição, 2002.
- [24] Miroslav Hanák. Advanced plc programming methods. Tese de mestrado, Czech Technical University in Prague, 2017.
- [25] Programmable logic controller (plc). Disponível em <https://www.myodesie.com/wiki/index/returnEntry/id/2962>, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [26] Engineering essentials: What is a programmable logic controller? Disponível em <http://machinedesign.com/engineering-essentials/engineering-essentials-what-programmable-logic-controller>, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.

- [27] Plc scan cycle. Disponível em <http://plcsoftwar.blogspot.cz/2016/02/plc-scan-cycle.html>, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [28] A. Otto e K. Hellmann. Iec 61131: A general overview and emerging trends. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, páginas 27–31, 2009.
- [29] A developer's perspective of plc configuration and programming using fbd and st. Disponível em <https://www.design-reuse.com/articles/25025/plc-configuration-programming-fbd-st.html>, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [30] R. W. Lewis. *Programming industrial control systems using IEC 1131-3*. The Institution of Electrical Engineers, Primeira edição, 1998.
- [31] K. Thramboulidis. Towards an object-oriented extension for iec 61131. *Proceedings of 2012 IEEE 17th International Conference on Emerging Technologies Factory Automation (ETFA 2012)*, páginas 1–10, 2012.
- [32] Tom Mejer Antonsen. *PLC Controls with Structured Text (ST)*. Books on Demand GmbH, Segunda edição, 2019.
- [33] K. THRAMBOULIDIS. A framework for the implementation of industrial automation systems based on plcs. 2013.
- [34] Industrial automation - plc programming languages. Disponível em http://users.isr.ist.utl.pt/~jag/courses/api13/docs/API_I_C3_2_IL.pdf, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [35] What are sequential function charts (sfcs) for plcs? Disponível em <https://www.motioncontroltips.com/sequential-function-charts-sfcs-plcs/>, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [36] Pneumatic systems. Disponível em https://resources.hkedcity.net/res_files/201101/20110128101153_259037.pdf, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [37] Hydraulic actuators. Disponível em <https://nptel.ac.in/courses/112106175/Module%202/Lecture%2012.pdf>, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [38] Advantages and drawbacks of pneumatic, hydraulic, and electric linear actuators. Disponível em https://www.timotion.com/en/news/news_content/blog-articles/general/advantages-and-drawbacks-of-pneumatic,-hydraulic,-and-electric-linear-actuators?upcls=1481266229&guid=1499762723, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [39] Instrumentation and control - tutorial 2 - electric actuators. Disponível em <http://www.freestudy.co.uk/control/t2.pdf>, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [40] Sensores óticos: como funcionam? Disponível em <https://www.citisystems.com.br/sensores-opticos/>, acessado a última vez em 25 de Abril de 2019.
- [41] *IEC 60848 Ed. 2 Specification language GRAFCET for sequential function charts*. The Institution of Electrical Engineers, Segunda edição, 1999.

- [42] Amorim. Manual rolhas apcor pt, 2011. Disponível em https://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/Manual_Rolhas_PT.pdf, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [43] Amorim. Amorim top series, 2011. Disponível em <https://www.amorimcork.com/pt/products/catalogue/top-series/>, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [44] Inês Esteves. Desenvolvimento de processo de encapsulagem de rolhas de cortiça por sobreinjeção de polímeros. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.
- [45] Amorim. A arte da cortiça, 2011. Disponível em https://www.amorim.com/xms/files/Documentacao/PT_Arte_Cortica_2011.pdf, acessado a última vez em 19 de Maio de 2019.
- [46] Ieee guide for developing system requirements specifications - ieee std 1233, 1998. Disponível em https://cow.ceng.metu.edu.tr/Courses/download_courseFile.php?id=2679, acessado a última vez em 3 de Junho de 2019.
- [47] Automating manufacturing systems with plcs. Disponível em http://engineeronadisk.com/V2/book_PLC/engineeronadisk.html, acessado a última vez em 5 de Abril de 2019.